Planeamento experimental – *Tutorial* para o DX®6.

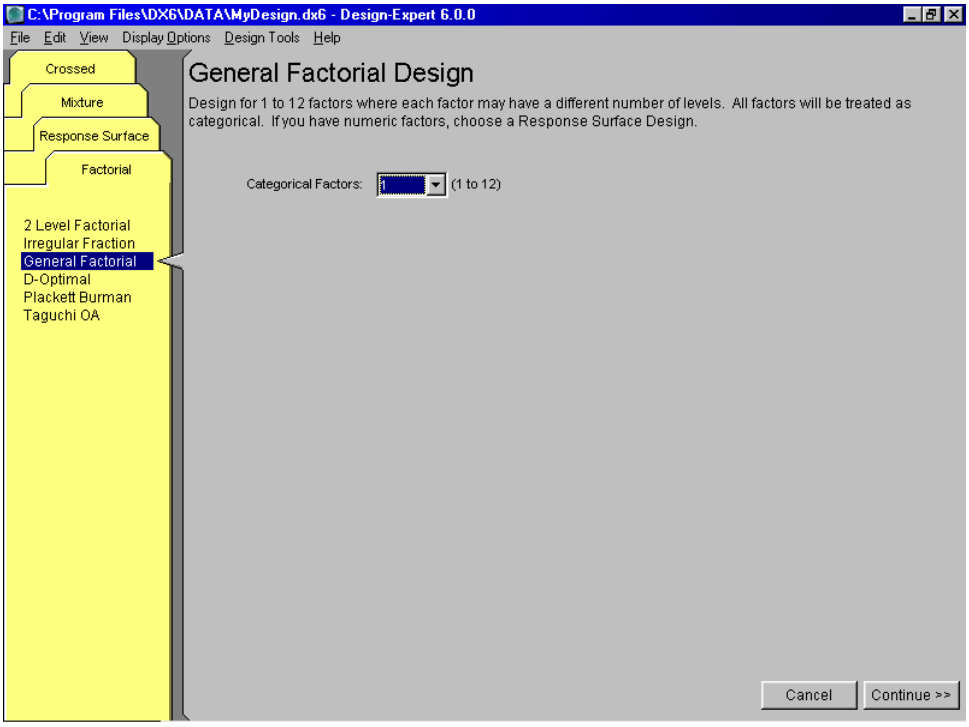
Apresentam-se algumas imagens (comentadas) obtidas durante o procedimento de planeamento (desenho) experimental com o Design-Expert® (O sítio da empresa StatEase Inc., em http://www.statease.com, disponibiliza uma versão de demonstração – utilizável durante 45 dias – da versão 7 do programa assim como todo o manual do utilizador em formato `pdf`).
Abordam-se casos de experiências com um factor com vários níveis ou tratamentos (General factorial) e com vários factores a dois níveis, experiências factoriais 2^k (2-level factorial). Os dados estão nos ficheiros `Factorial.dx6`, `2_2Factorial.dx6`, `2_4Factorial.dx6` e `2_5Fract_Factorial.dx6` (em http://w3.ualg.pt/~eesteves/).

Utilizam-se diferentes tipos de letra para indicar os menus e selecções (**Arial**) ou os resultados das análises (**`Courier`**). Assim, a anotação **File > Build Design**... **General Factorial** indica que se deve seleccionar no menu **File** a entrada **Build Design** e posteriormente a opção **General Factorial**.

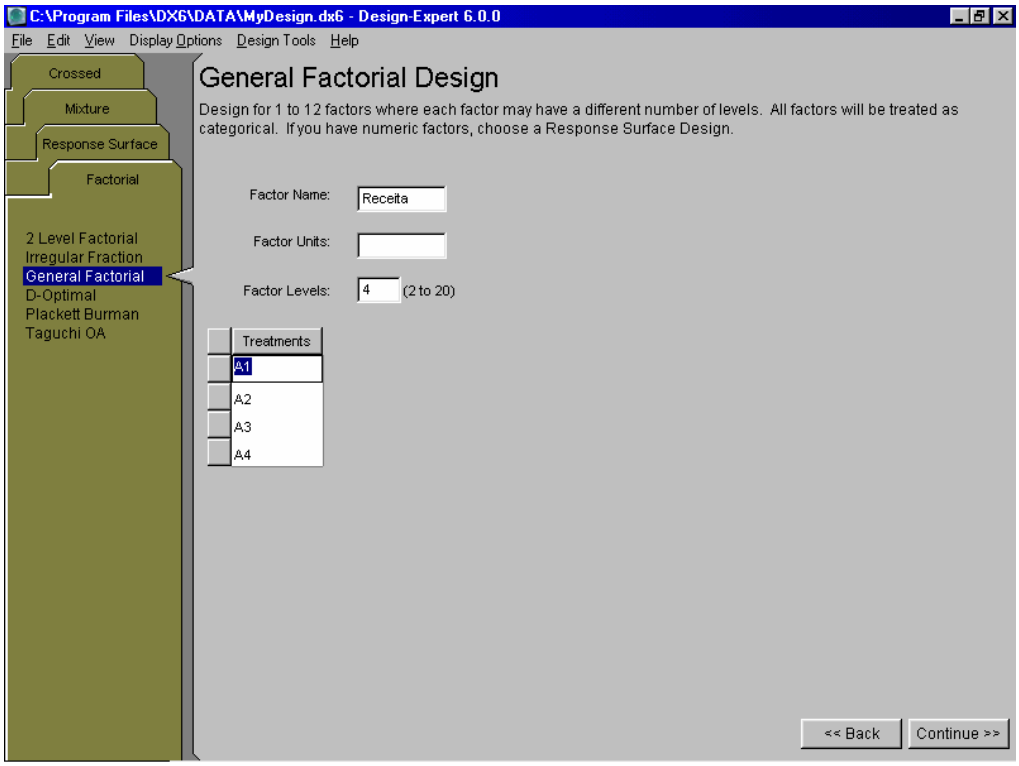
Para considerações teóricas e notação aplicável consultar os apontamentos da disciplina e a bibliografia aconselhada no programa da disciplina.

Experiências com um factor

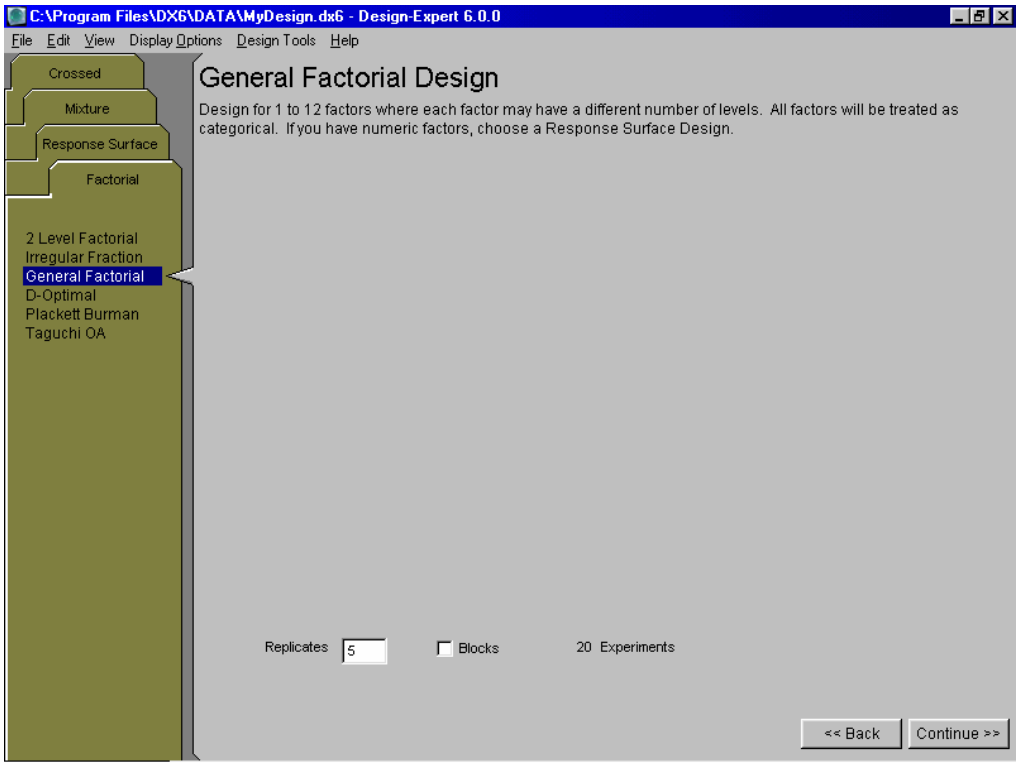
Problema: Pretende-se estudar a influência da composição dum produto alimentar (quatro receitas diferentes, 1-4) sobre a desejabilidade do produto (D, resultado de classificações atribuídas por um painel de cinco provadores treinados numa escala 1-10). O planeamento desta experiência inicia-se com:



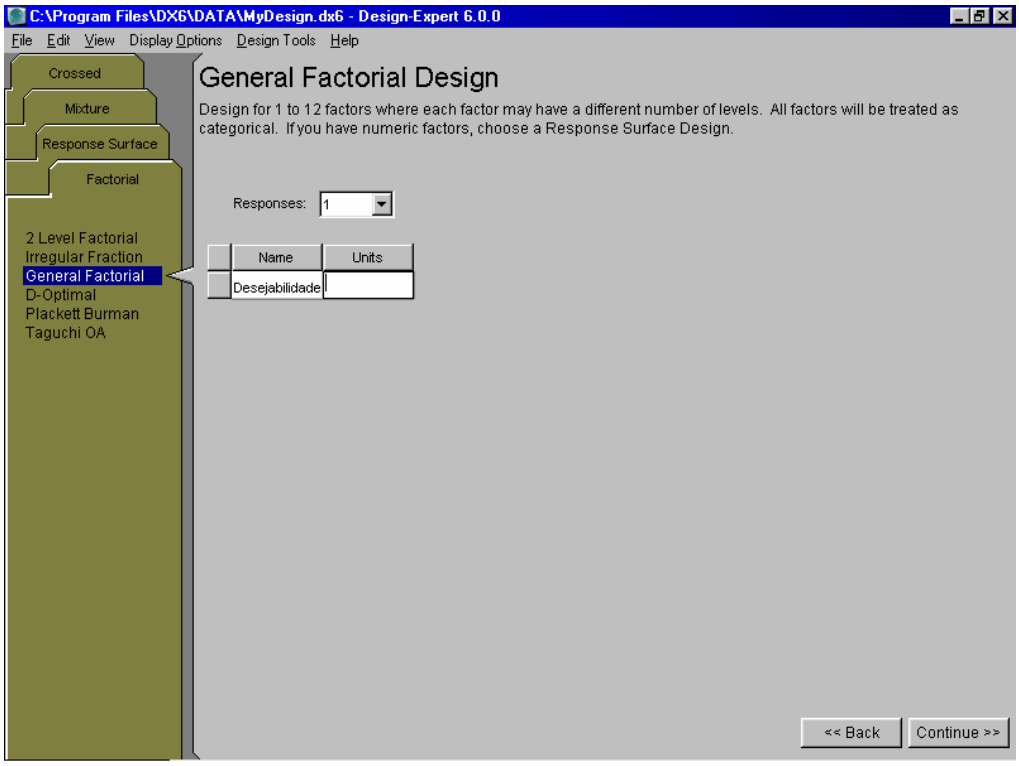
#1. Depois de iniciado o programa, seleccionar **File > Build Design**... **General Factorial**. Indicar o número de factores em estudo (neste caso um factor – receita). Fazer **Continue >>**...



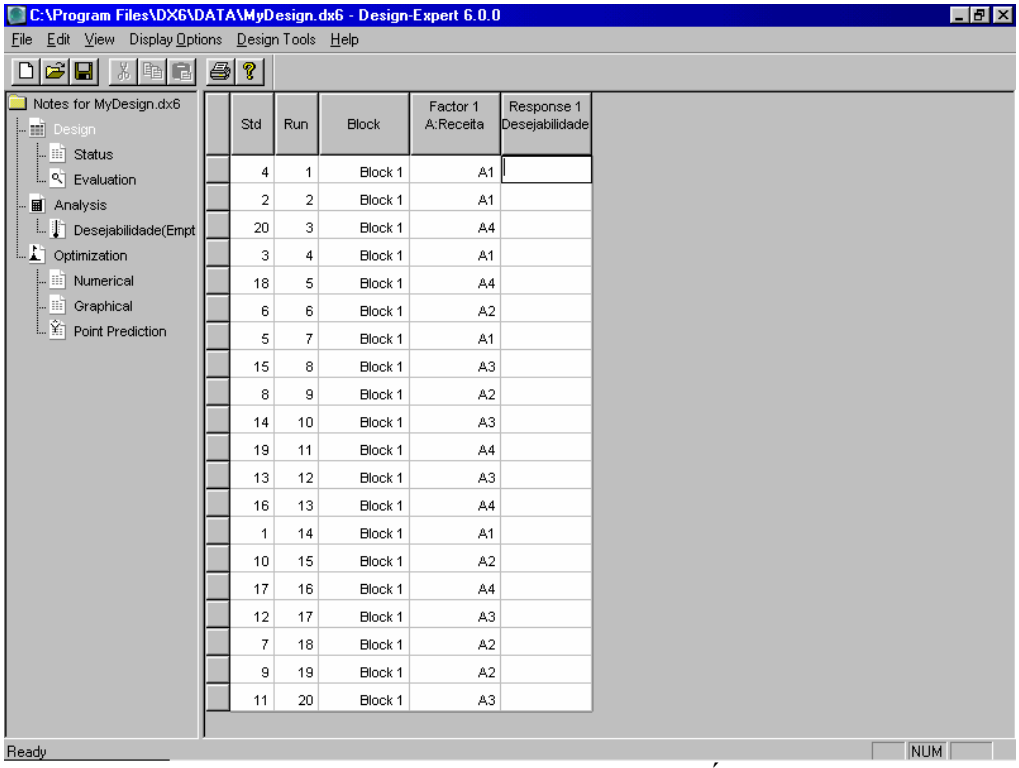
#2. Preencher os campos necessários: Nome do factor (Name), as unidades (units), o nº de níveis do factor (levels ou treatments) e as suas designações. Fazer **Continue >>**...


C:\Program Files\DX6\DATA\MyDesign.dx6 - Design-Expert 6.0.0
File Edit View Display Options Design Tools Help
Crossed
Mixture
Response Surface
Factorial
2 Level Factorial
Irregular Fraction
General Factorial
D-Optimal
Plackett Burman
Taguchi OA
General Factorial Design
Design for 1 to 12 factors where each factor may have a different number of levels. All factors will be treated as categorical. If you have numeric factors, choose a Response Surface Design.
Replicates 5
Blocks
20 Experiments
<< Back
Continue >>

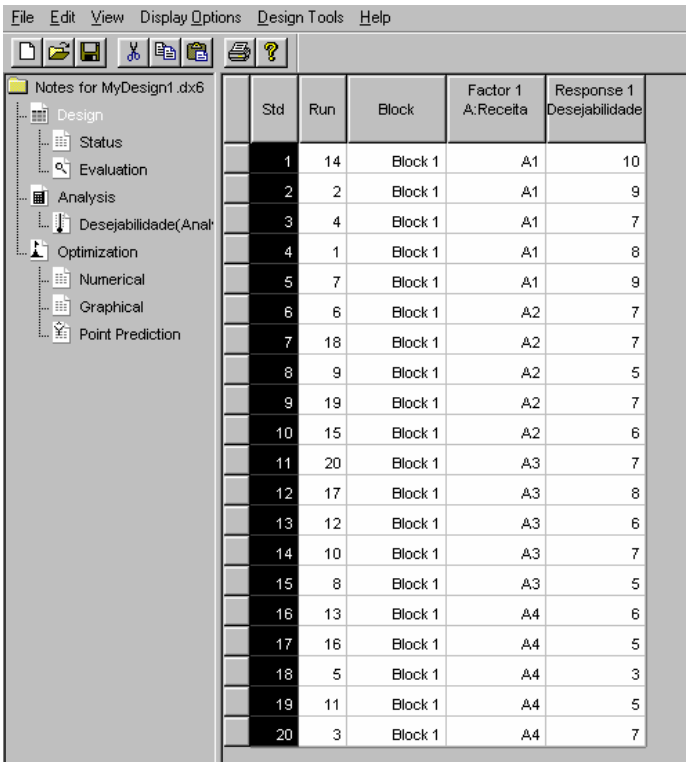
#3. Indicar o nº de réplicas, ou ensaios ou repetições, de cada nível do factor que se pretendem realizar (Replicates) e se se pretende "sub-dividir" a experiências em blocos (por exemplo, no caso de não ser possível realizá-la num mesmo dia). Fazer **Continue >>**...



#4. Indicar o nº de variáveis-resposta (Responses). Neste caso apenas uma, a desejabilidade, e as suas unidades (se tiver). Fazer **Continue >>**...

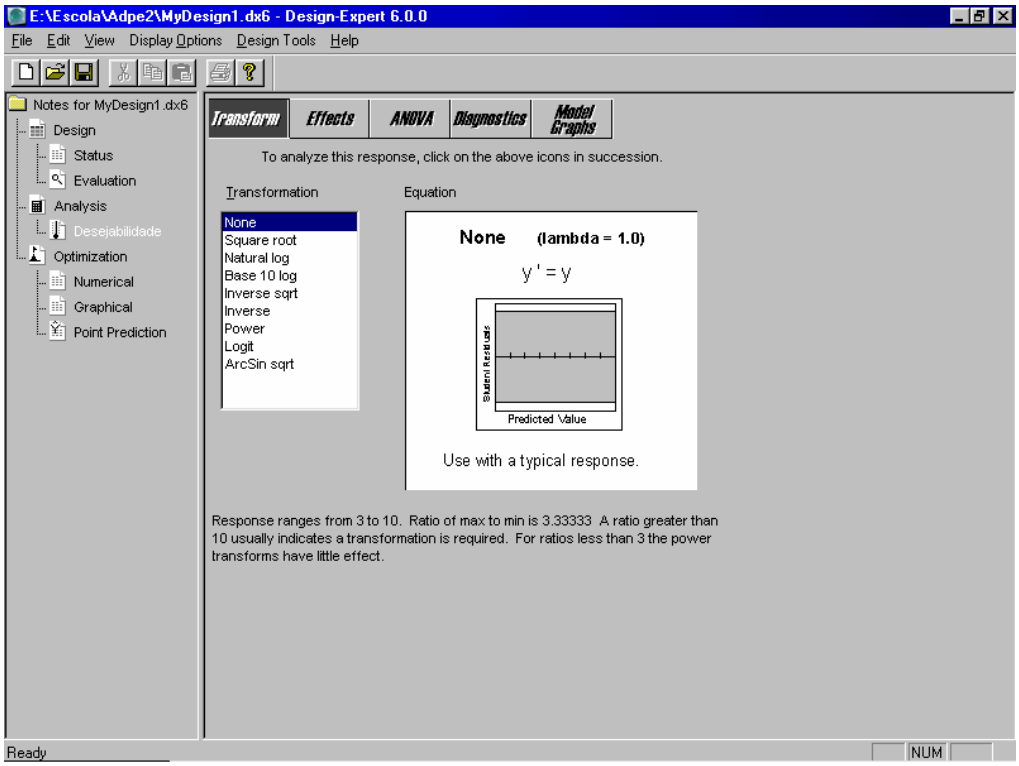


#5. Esquema da experiência a realizar (*Design layout*). É possível corrigir o desenho experimental: eliminar ou acrescentar réplicas aos tratamentos conforme necessário. Importante considerar a ordem (aleatorizada) de realização da experiência indicada pela coluna *Run*. Pode-se imprimir uma folha mais apropriada para o registo dos resultados fazendo **View > Data Entry Sheet**... e **File > Print Preview**...). Neste momento, é possível guardar a informação através de **File > Save As...** Depois de realizada a experiência preencher a última coluna – *Desejabilidade* – com os resultados obtidos.

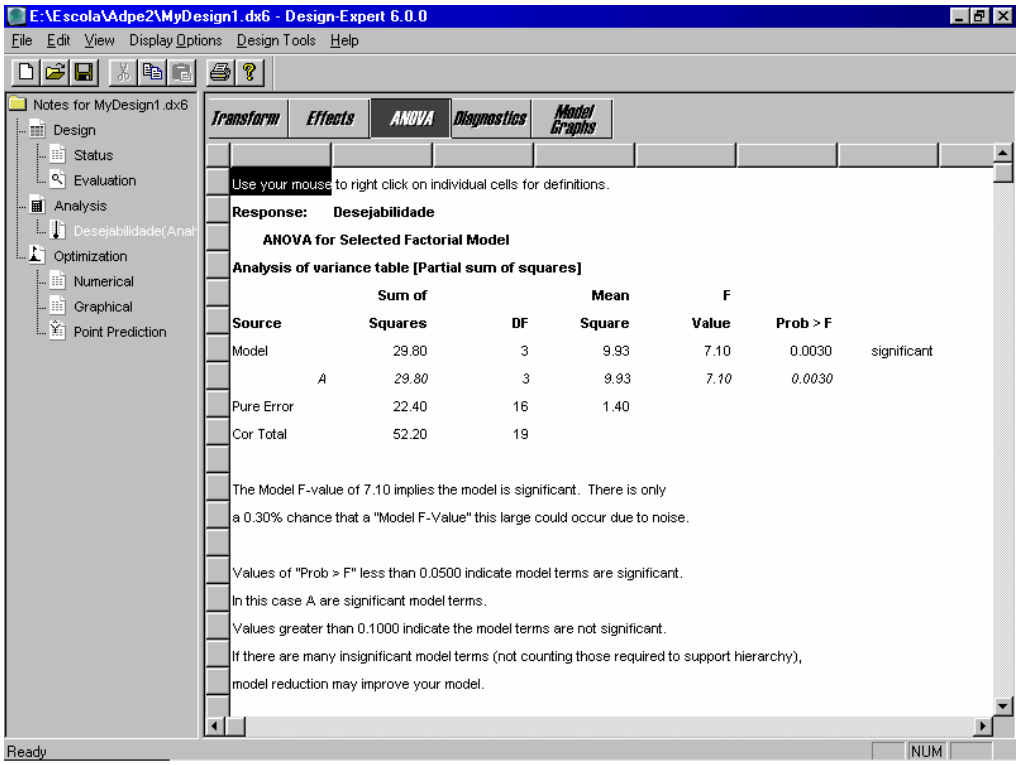


Std	Run	Block	Factor 1 A:Receita	Response 1 Desejabilidade
1	14	Block 1	A1	10
2	2	Block 1	A1	9
3	4	Block 1	A1	7
4	1	Block 1	A1	8
5	7	Block 1	A1	9
6	6	Block 1	A2	7
7	18	Block 1	A2	7
8	9	Block 1	A2	5
9	19	Block 1	A2	7
10	15	Block 1	A2	6
11	20	Block 1	A3	7
12	17	Block 1	A3	8
13	12	Block 1	A3	6
14	10	Block 1	A3	7
15	8	Block 1	A3	5
16	13	Block 1	A4	6
17	16	Block 1	A4	5
18	5	Block 1	A4	3
19	11	Block 1	A4	5
20	3	Block 1	A4	7

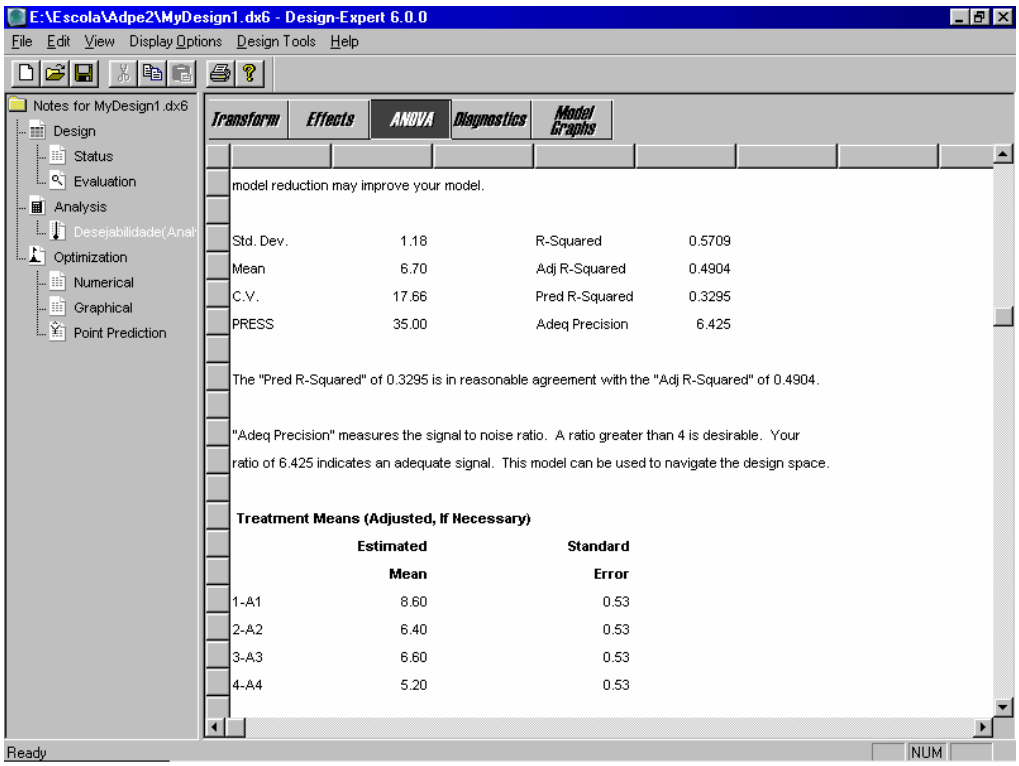
#6. Os resultados da experiência já foram introduzidos na folha de registo (que foi ordenada pela coluna *Std* para facilitar aquela operação. Esta ordenação faz-se através de **View > Std Order…**). Neste momento, é possível guardar toda a informação através de **File > Save As...**



#7. Seleccionar **Analysis > Desejabilidade...** no painel da esquerda. Surge o primeiro passo da análise estatística dos resultados, **Transform** [botão no menu no topo]. Existem várias opções para a eventual transformação dos dados contudo neste caso a razão entre os valores máximo e mínimo da variável-resposta <10, pelo que não será previsível a necessidade de transformação da variável – aliás isso é indicado pelo *software*.

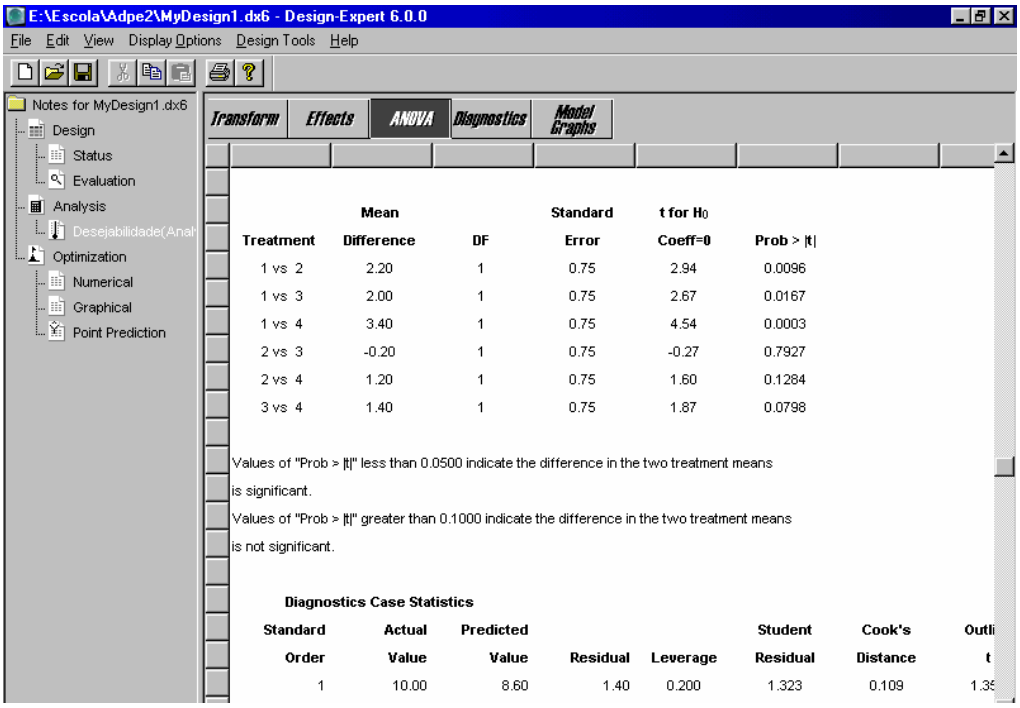

E:\Escola\Adpe2\MyDesign1.dx6 - Design-Expert 6.0.0
File Edit View Display Options Design Tools Help
Notes for MyDesign1.dx6
Design
Status
Evaluation
Analysis
Desejabilidade(Anal
Optimization
Numerical
Graphical
Point Prediction
Transform Effects ANOVA Diagnostics Model Graphs
Use your mouse to right click on individual cells for definitions.
Response: Desejabilidade
ANOVA for Selected Factorial Model
Analysis of variance table [Partial sum of squares]
Sum of Mean F
Source Squares DF Square Value Prob > F
Model 29.80 3 9.93 7.10 0.0030 significant
A 29.80 3 9.93 7.10 0.0030
Pure Error 22.40 16 1.40
Cor Total 52.20 19
The Model F-value of 7.10 implies the model is significant. There is only
a 0.30% chance that a "Model F-Value" this large could occur due to noise.
Values of "Prob > F" less than 0.0500 indicate model terms are significant.
In this case A are significant model terms.
Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant.
If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy),
model reduction may improve your model.
Ready
NUM

#8. Seleccionar **ANOVA** [botão no menu do topo]... O segundo passo! Surgem vários resultados: 1º uma Tabela da ANOVA, em que interessam **`F value`** (o f_{obs}) e **`Prob>F`** (o *p-value*). Se `Prob>F` for significativo, i.e. o seu valor < α, então existem diferenças entre médias dos tratamentos. Na barra lateral, percorrer restantes resultados que se apresentam em baixo....

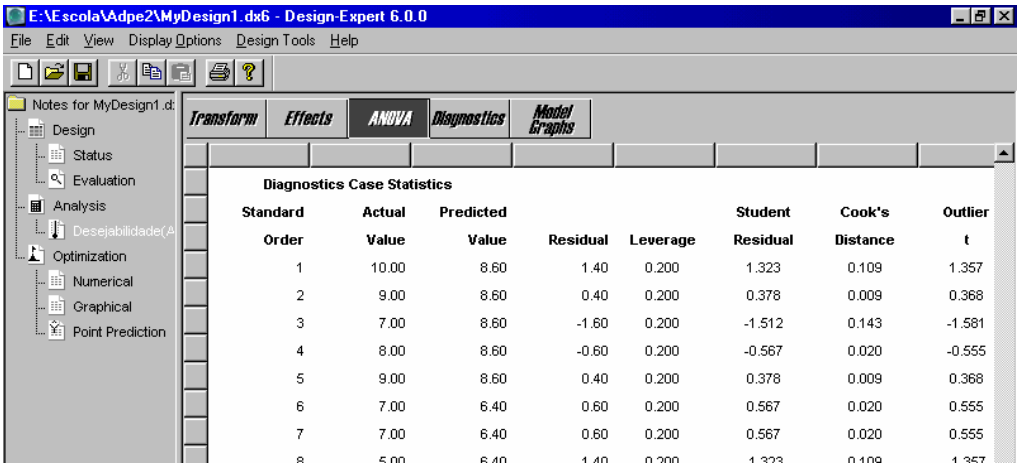

E:\Escola\Adpe2\MyDesign1.dx6 - Design-Expert 6.0.0
File Edit View Display Options Design Tools Help
Notes for MyDesign1.dx6
Design
Status
Evaluation
Analysis
Desejabilidade(Anal
Optimization
Numerical
Graphical
Point Prediction
Transform Effects ANOVA Diagnostics Model Graphs
model reduction may improve your model.
Std. Dev. 1.18 R-Squared 0.5709
Mean 6.70 Adj R-Squared 0.4904
C.V. 17.66 Pred R-Squared 0.3295
PRESS 35.00 Adeq Precision 6.425
The "Pred R-Squared" of 0.3295 is in reasonable agreement with the "Adj R-Squared" of 0.4904.
"Adeq Precision" measures the signal to noise ratio. A ratio greater than 4 is desirable. Your
ratio of 6.425 indicates an adequate signal. This model can be used to navigate the design space.
Treatment Means (Adjusted, If Necessary)
Estimated Standard
Mean Error
1-A1 8.60 0.53
2-A2 6.40 0.53
3-A3 6.60 0.53
4-A4 5.20 0.53
Ready
NUM

#9. Para complementar a análise de (e a tabela da) ANOVA anterior, o *software* fornece mais informação, nomeadamente: a **`PRESS`** (*Predicted Residual Sum of Squares*) ou Soma Prevista dos Quadrados dos Resíduos, uma medida do ajuste do modelo obtido a cada uma das observações (quanto menor, melhor!); o **`Adj R-Squared`** (R^2 ajustado) e o **`Pred R-`**

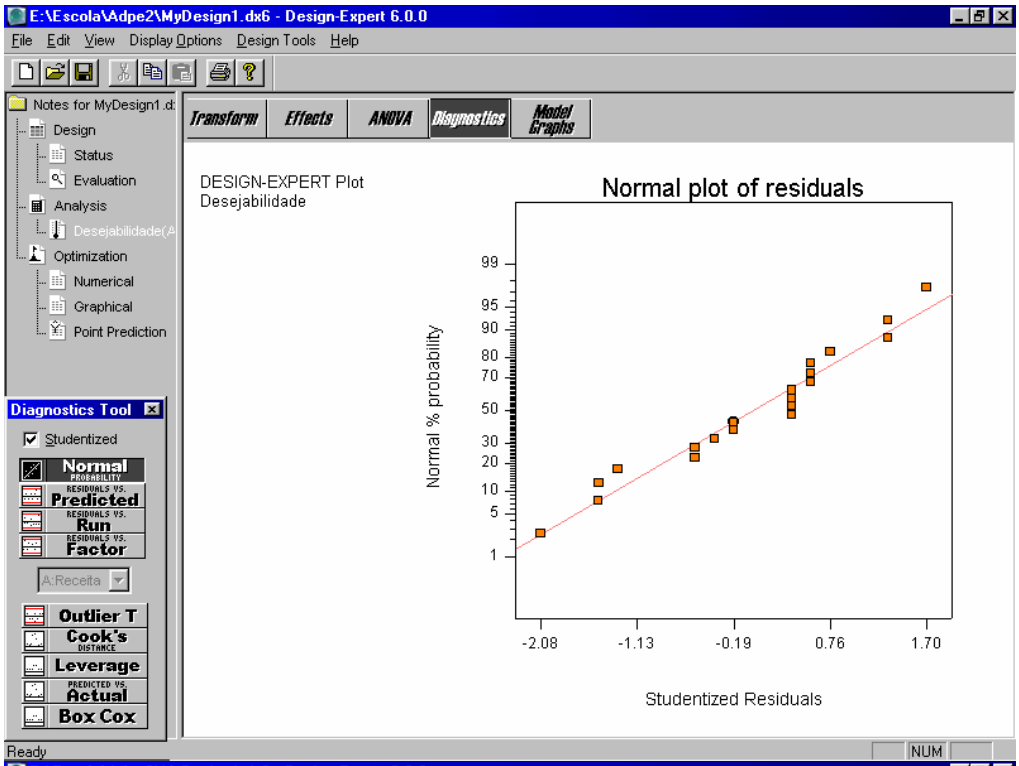
`Squared` (R^2 previsto), que é uma medida da porção da variabilidade numa "futura" experiência, em tudo semelhante a esta, explicada pelo modelo obtido (estas duas quantidades devem ser similares!); e a razão **`Adeq Precision`**, mede a diferença entre a resposta prevista (ou esperada) e o erro associado (uma razão> 4 é desejável). Apresentam-se, ainda, as desejabilidades médias de cada nível/tratamento (neste caso, cada receita) e respectivos erros-padrão (em **`Treatment means`**).

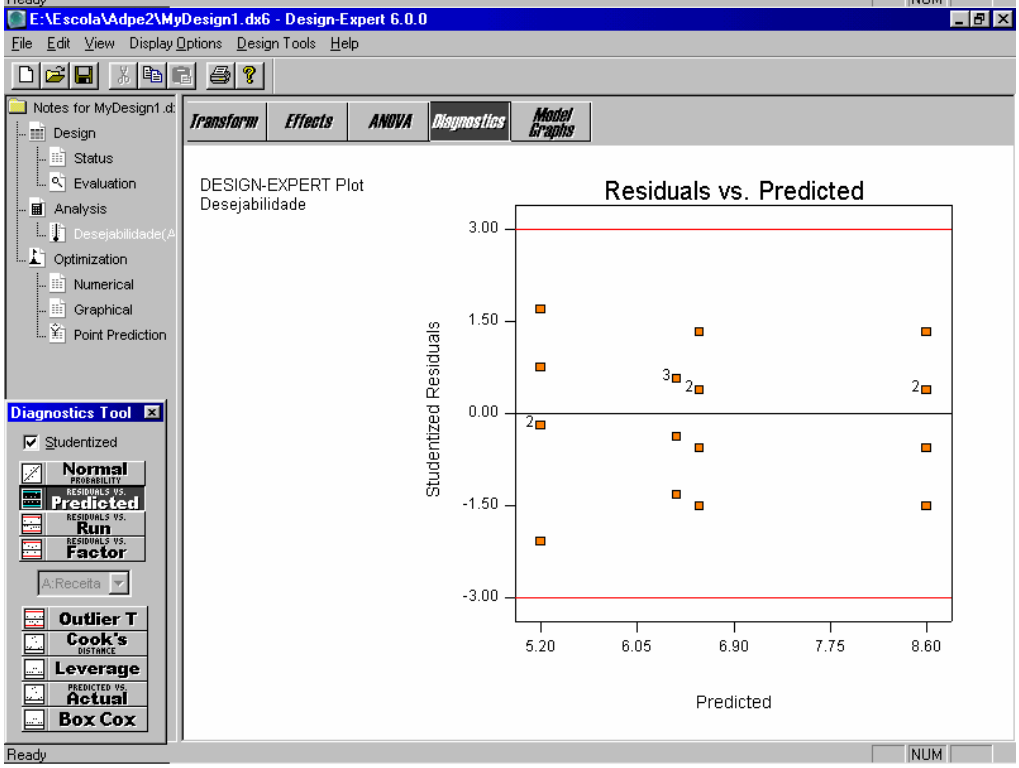

E:\Escola\Adpe2\MyDesign1.dx6 - Design-Expert 6.0.0
File Edit View Display Options Design Tools Help
Notes for MyDesign1.dx6
Design
Status
Evaluation
Analysis
Desejabilidade(Anal
Optimization
Numerical
Graphical
Point Prediction
Transform Effects ANOVA Diagnostics Model Graphs
Mean Standard t for H0
Treatment Difference DF Error Coeff=0 Prob > |t|
1 vs 2 2.20 1 0.75 2.94 0.0096
1 vs 3 2.00 1 0.75 2.67 0.0167
1 vs 4 3.40 1 0.75 4.54 0.0003
2 vs 3 -0.20 1 0.75 -0.27 0.7927
2 vs 4 1.20 1 0.75 1.60 0.1284
3 vs 4 1.40 1 0.75 1.87 0.0798
Values of "Prob > |t|" less than 0.0500 indicate the difference in the two treatment means
is significant.
Values of "Prob > |t|" greater than 0.1000 indicate the difference in the two treatment means
is not significant.
Diagnostics Case Statistics
Standard Actual Predicted Student Cook's Outli
Order Value Value Residual Leverage Residual Distance t
1 10.00 8.60 1.40 0.200 1.323 0.109 1.35

#10. Se na ANOVA (ver #8 e 9) **`Prob>F`** for significativo, poderemos continuar a análise e comparar os vários níveis/tratamentos: **`Treatment 1 vs 2, Treatment 1 vs 3`**, etc... onde interessam os valores de **`Prob>|t|`** (valores significativos, i.e. inferiores a α, indicam diferenças entre tratamentos).


E:\Escola\Adpe2\MyDesign1.dx6 - Design-Expert 6.0.0
File Edit View Display Options Design Tools Help
Notes for MyDesign1.d
Design
Status
Evaluation
Analysis
Desejabilidade(A
Optimization
Numerical
Graphical
Point Prediction
Transform Effects ANOVA Diagnostics Model Graphs
Diagnostics Case Statistics
Standard Actual Predicted Student Cook's Outlier
Order Value Value Residual Leverage Residual Distance t
1 10.00 8.60 1.40 0.200 1.323 0.109 1.357
2 9.00 8.60 0.40 0.200 0.378 0.009 0.368
3 7.00 8.60 -1.60 0.200 -1.512 0.143 -1.581
4 8.00 8.60 -0.60 0.200 -0.567 0.020 -0.555
5 9.00 8.60 0.40 0.200 0.378 0.009 0.368
6 7.00 6.40 0.60 0.200 0.567 0.020 0.555
7 7.00 6.40 0.60 0.200 0.567 0.020 0.555

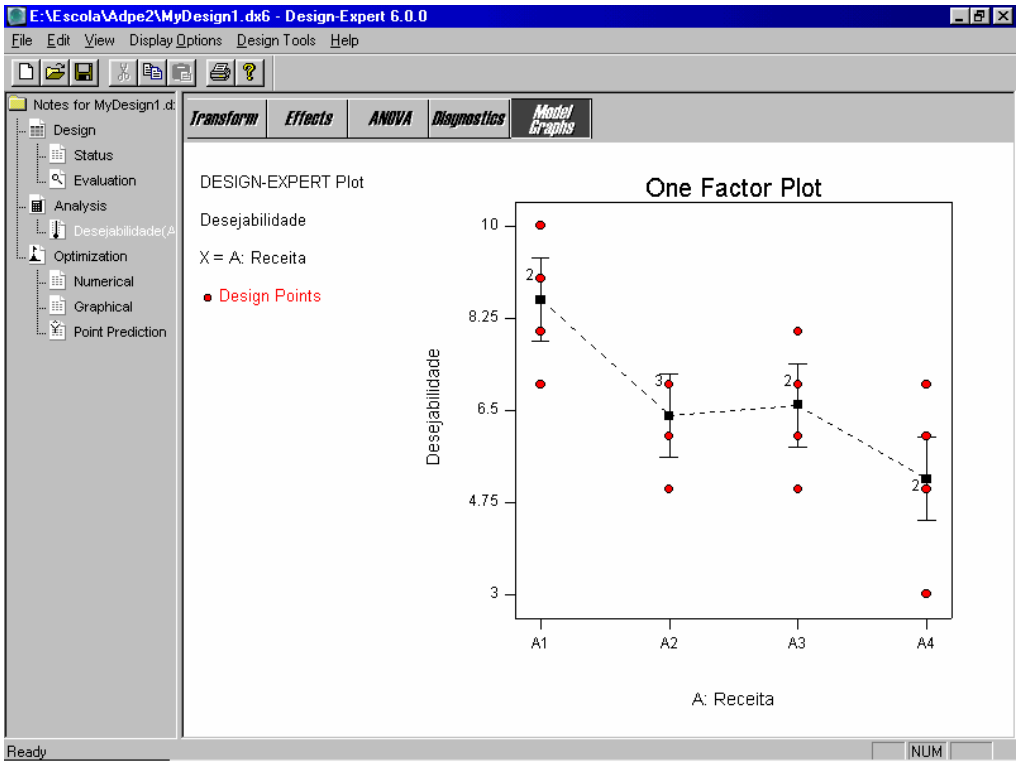
#11. No diagnóstico dos resultados (**`Diagnostics case statistics`**), apresentam-se os valores observados e esperados (**`Actual values`** e **`Predicted values`**), os resíduos (sob várias formas), etc. Interessam os valores de **`Outlier t`** (se `|Outlier t|>3` então o ensaio/repetição/caso é "suspeito" eventualmente poderá ser eliminado da análise – cuidado com estas decisões!). Completar o "diagnóstico" com a análise gráfica dos resíduos (para verificação dos pressupostos e para garantir a validade dos resultados da análise estatística.





#12. Para avaliar a "qualidade" da análise (estatística) de variância anterior e a "credibilidade" das conclusões extraídas... Seleccionar **Diagnostics** [botão no menu do topo], das várias possibilidades (que se podem seleccionar no menu flutuante que surge à esquerda no ecrã) interessam: 1º **Normal plot of residuals** (que permite analisar a normalidade dos erros, um dos pressupostos da ANOVA; se os pontos se desviarem da linha, então é possível que os erros não se distribuam normalmente); 2º **Residuals vs. Predicted** (que permite verificar a homogeneidade das variâncias, outro pressuposto da ANOVA; se se observar alguma tendência, então é possível que as variâncias não sejam homogéneas). Podem, ainda, observar-se os gráficos **Residuals vs. Run**, para verificar a independências das observações (um padrão neste gráfico indica correlação entre os resultados), **Cook's distance**, para analisar a "contribuição

relativa" de cada uma das observações para o modelo obtido, e **Outlier T**, para identificar/confirmar observações muito extremas. Se tudo parecer "em ordem", continuar...

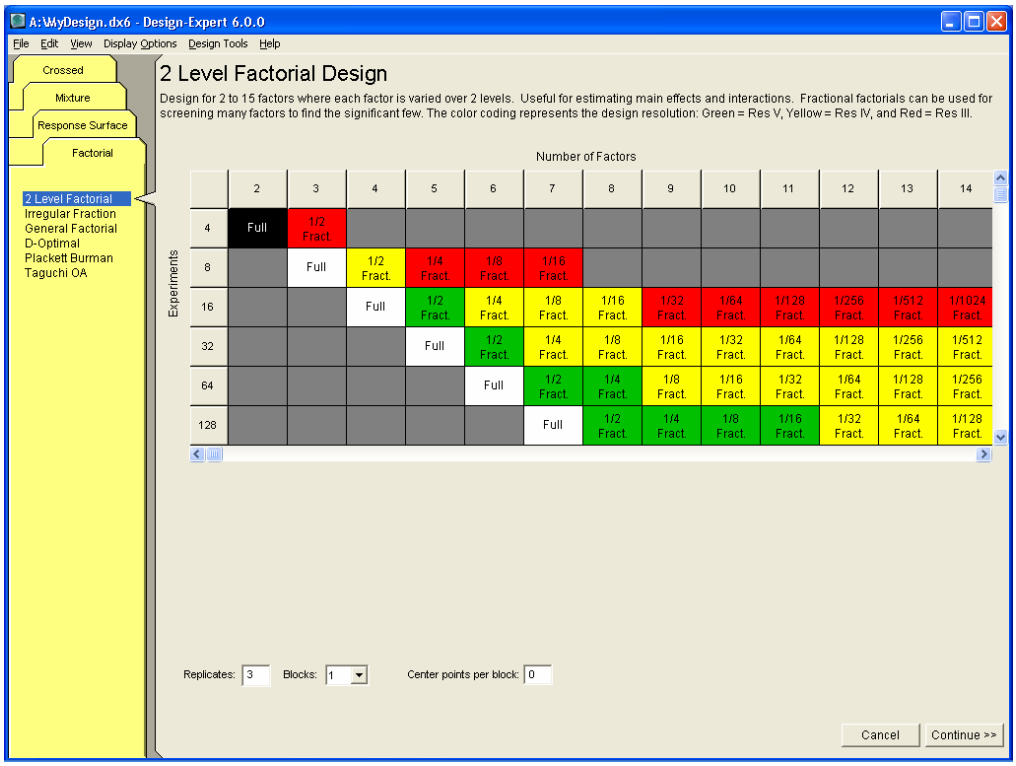


#13. Para resumir, graficamente, a análise estatística realizada... Seleccionar **Model Graphs** [botão no menu do topo] para obter o gráfico **`Response vs. Treatment`**, neste caso Desejabilidade – Receita. Representam-se as observações (•), com indicação da média por tratamento (■) e respectivos intervalos de 95% de confiança ("bigodes"). Estes últimos permitem comparar visualmente os tratamentos (ver #10 para os resultados dos testes para comparações múltiplas), se os intervalos se sobrepuserem, então os tratamentos não são diferentes.

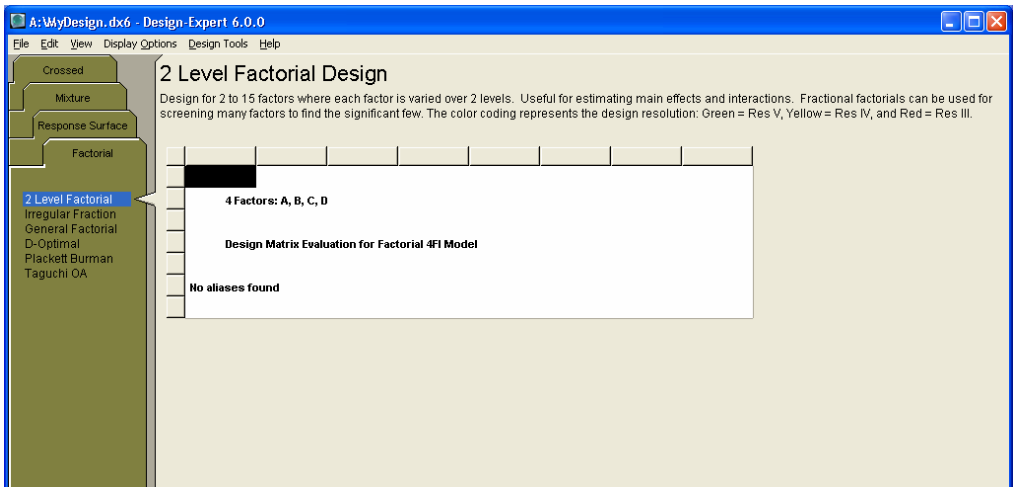
Nota: O *software* permite outras opções também úteis na análise estatística apresentada, que podem ser exploradas!

Experiências factoriais 2^k (a dois níveis) com dois factores

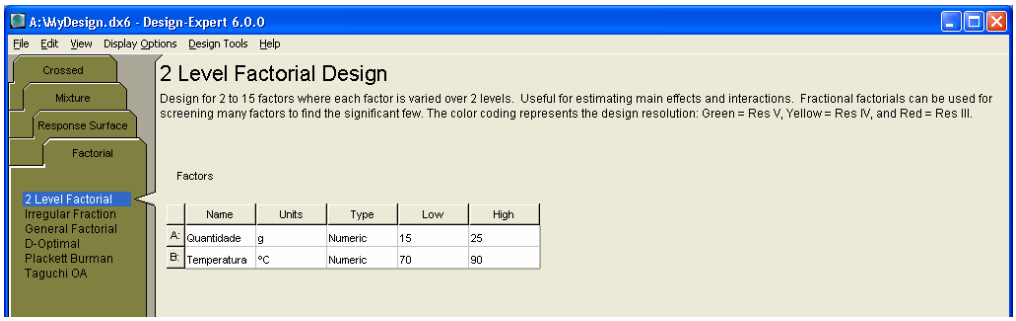
Problema: Pretende-se analisar a influência da quantidade de matéria-prima (em gramas) e da temperatura (em ºC) sobre o tempo de processamento de determinado produto alimentar. Com esse objectivo realizou-se uma experiência com dois factores a dois níveis, Quantidade (15 e 25 g) e Temperatura (70 e 90 ºC), e foi possível ensaiar três vezes cada combinação dos factores em estudo. Depois de iniciar o DX®6, seleccionar **File > Build design... > 2-Level factorial**.


A:\MyDesign.dx6 - Design-Expert 6.0.0
File Edit View Display Options Design Tools Help
Crossed
Mixture
Response Surface
Factorial
2 Level Factorial
Irregular Fraction
General Factorial
D-Optimal
Plackett Burman
Taguchi OA
2 Level Factorial Design
Design for 2 to 15 factors where each factor is varied over 2 levels. Useful for estimating main effects and interactions. Fractional factorials can be used for screening many factors to find the significant few. The color coding represents the design resolution: Green = Res V, Yellow = Res IV, and Red = Res III.
Number of Factors
Experiments
Replicates: 3
Blocks: 1
Center points per block: 0
Cancel
Continue >>

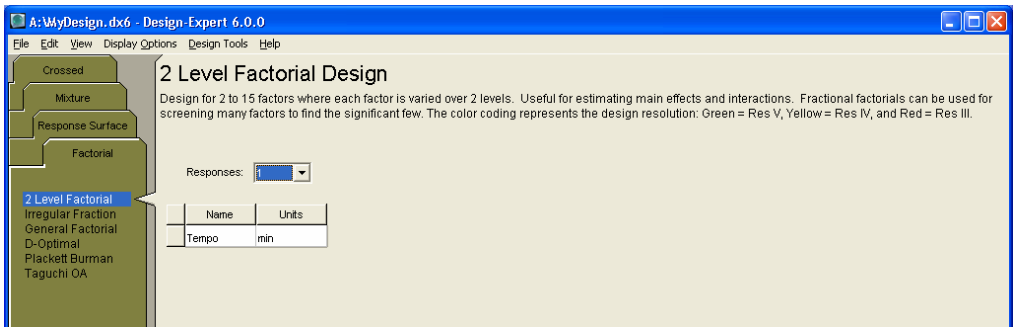
#14. Seleccionar a célula na tabela que corresponde ao desenho factorial pretendido, neste caso a experiência envolve dois factores (Number of factors), e ao número de ensaios (Experiments) a realizar. Neste caso, deseja-se realizar número igual de experiências para cada nível/tratamento do factor, portanto seleccionar a opção Full relativa a desenhos factoriais completos. Fazer **Continue >>.**


A:\MyDesign.dx6 - Design-Expert 6.0.0
File Edit View Display Options Design Tools Help
Crossed
Mixture
Response Surface
Factorial
2 Level Factorial
Irregular Fraction
General Factorial
D-Optimal
Plackett Burman
Taguchi OA
2 Level Factorial Design
Design for 2 to 15 factors where each factor is varied over 2 levels. Useful for estimating main effects and interactions. Fractional factorials can be used for screening many factors to find the significant few. The color coding represents the design resolution: Green = Res V, Yellow = Res IV, and Red = Res III.
4 Factors: A, B, C, D
Design Matrix Evaluation for Factorial 4FI Model
No aliases found

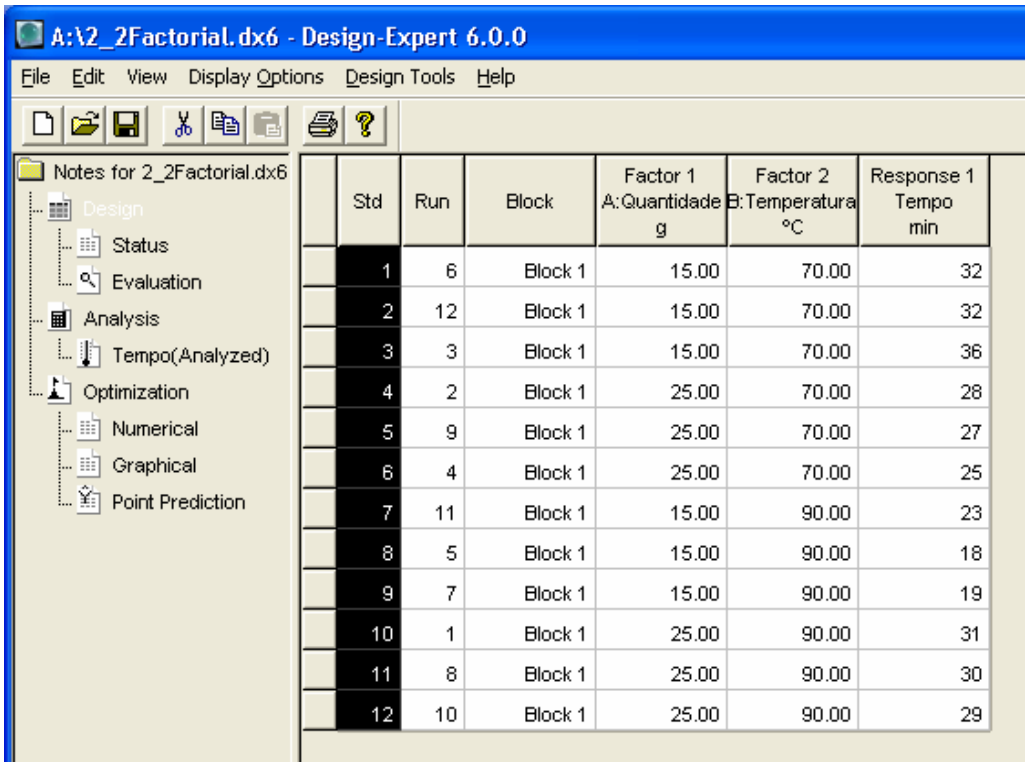
#15. Simples descrição do desenho factorial. Fazer **Continue >>**


A:\MyDesign.dx6 - Design-Expert 6.0.0
File Edit View Display Options Design Tools Help
Crossed
Mixture
Response Surface
Factorial
2 Level Factorial
Irregular Fraction
General Factorial
D-Optimal
Plackett Burman
Taguchi OA
2 Level Factorial Design
Design for 2 to 15 factors where each factor is varied over 2 levels. Useful for estimating main effects and interactions. Fractional factorials can be used for screening many factors to find the significant few. The color coding represents the design resolution: Green = Res V, Yellow = Res IV, and Red = Res III.
Factors
Name Units Type Low High
A: Quantidade g Numeric 15 25
B: Temperatura °C Numeric 70 90

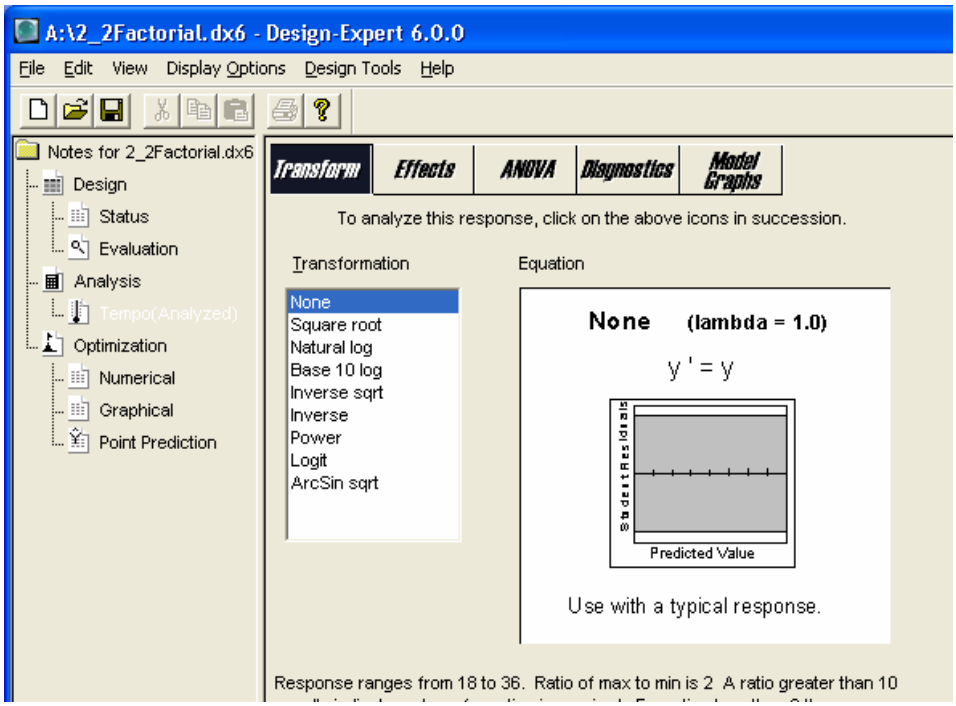
#16. Preencher com "pormenores" descritivos dos factores e níveis desses factores. As indicações Low e High correspondem aos dois níveis dos factores. Fazer **Continue >>**


A:\MyDesign.dx6 - Design-Expert 6.0.0
File Edit View Display Options Design Tools Help
Crossed
Mixture
Response Surface
Factorial
2 Level Factorial
Irregular Fraction
General Factorial
D-Optimal
Plackett Burman
Taguchi OA
2 Level Factorial Design
Design for 2 to 15 factors where each factor is varied over 2 levels. Useful for estimating main effects and interactions. Fractional factorials can be used for screening many factors to find the significant few. The color coding represents the design resolution: Green = Res V, Yellow = Res IV, and Red = Res III.
Responses: 1
Name Units
Tempo min

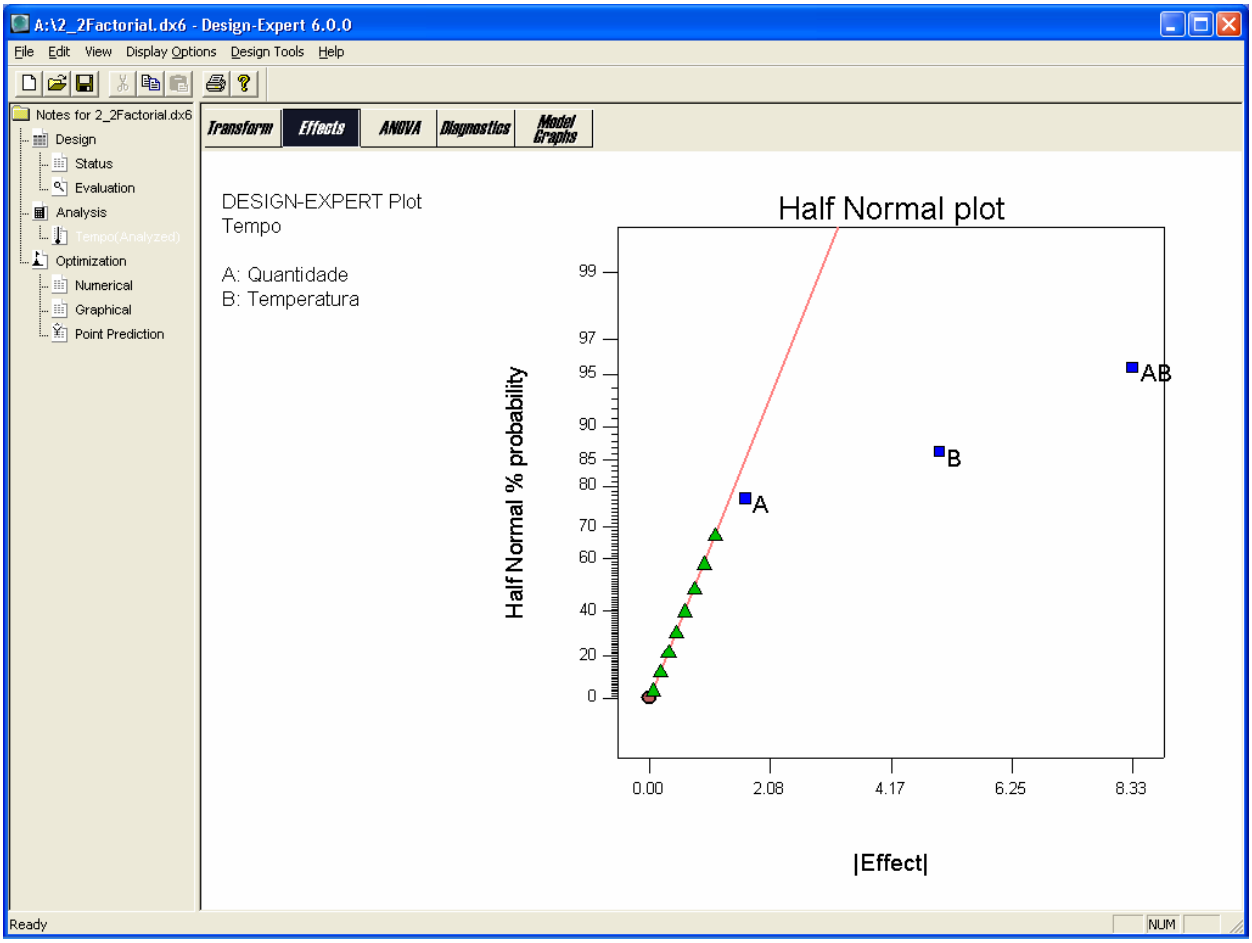
#17. Acrescentar "pormenores" da(s) variável-resposta. Fazer **Continue >>**


A:\2_2Factorial.dx6 - Design-Expert 6.0.0
File Edit View Display Options Design Tools Help
Notes for 2_2Factorial.dx6
Design
Status
Evaluation
Analysis
Tempo(Analyzed)
Optimization
Numerical
Graphical
Point Prediction
Std Run Block Factor 1 A:Quantidade g Factor 2 B:Temperatura °C Response 1 Tempo min
1 6 Block 1 15.00 70.00 32
2 12 Block 1 15.00 70.00 32
3 3 Block 1 15.00 70.00 36
4 2 Block 1 25.00 70.00 28
5 9 Block 1 25.00 70.00 27
6 4 Block 1 25.00 70.00 25
7 11 Block 1 15.00 90.00 23
8 5 Block 1 15.00 90.00 18
9 7 Block 1 15.00 90.00 19
10 1 Block 1 25.00 90.00 31
11 8 Block 1 25.00 90.00 30
12 10 Block 1 25.00 90.00 29

#18. Surge então o plano da experiência. Importante realizar a experiência seguindo a ordem indicada pela coluna *Run*! É possível guardar este esquema, fazendo **File > Save As**... Depois de realizada a experiência, introduzem-se os resultados obtidos na última coluna. O quadro ilustrado na figura está ordenado pela coluna *Std* para facilitar a introdução dos dados!

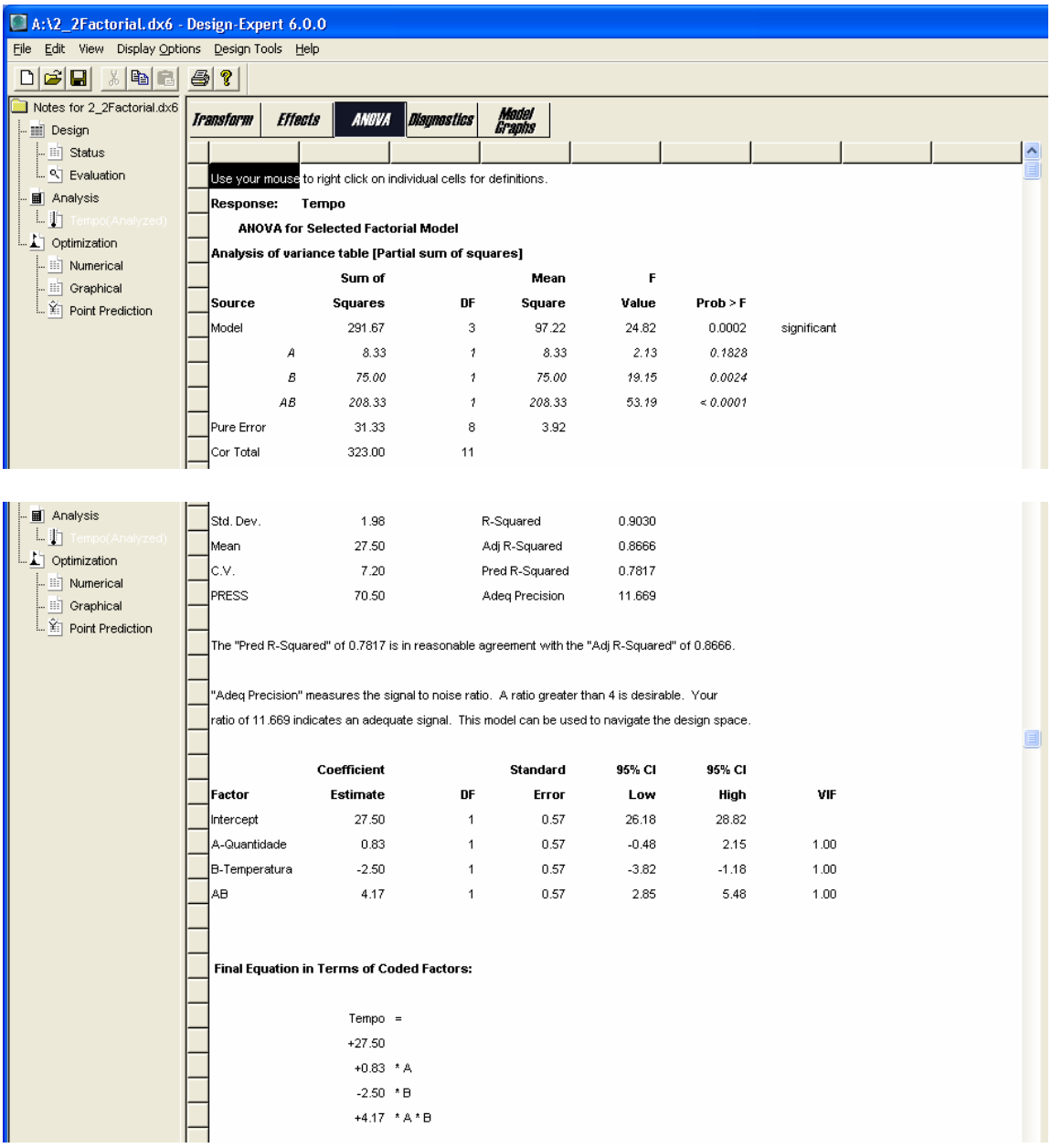


#19. Seleccionar **Analysis > Tempo...** no painel da esquerda. Surge o primeiro passo da análise estatística dos resultados, **Transform** [botão no menu no topo] Existem várias opções para a eventual transformação dos dados contudo neste caso não será necessário.

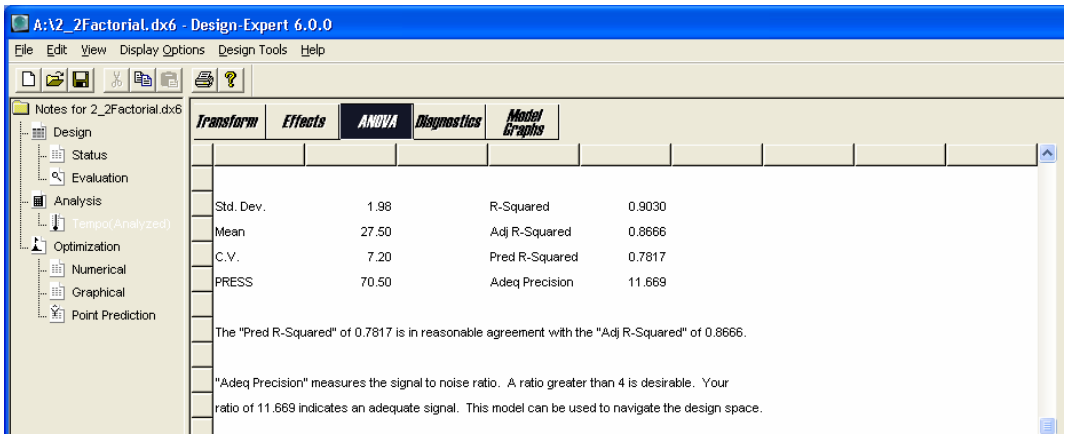


#20. Seleccionar **Effects...** [no botão do menu do topo]. O programa apresenta graficamente quais dos factores, incluindo possíveis interacções, são significativos para "explicar" a variável-

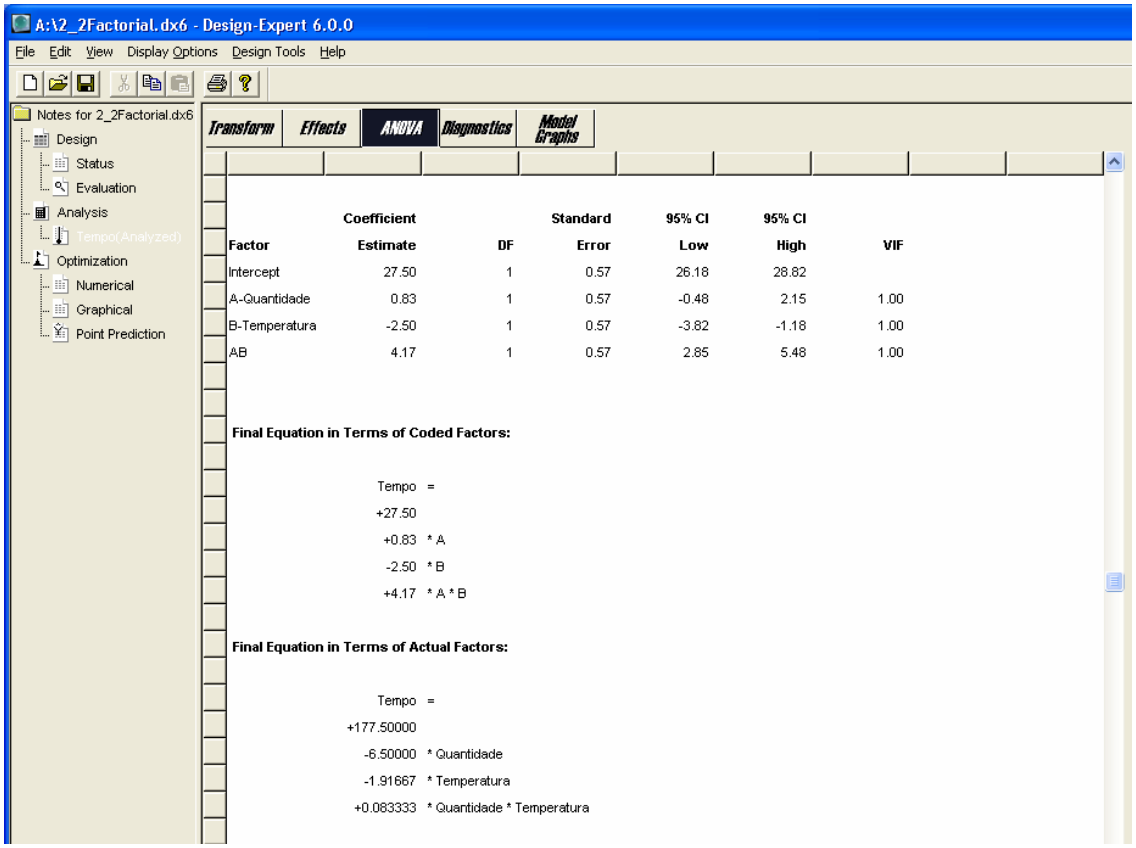
resposta (através dum `Half-Normal Probability plot`). Se isso não acontecer "por defeito", é possível obter os resultados apresentados nesta figura da seguinte forma: com o rato deslocar a linha vermelha para que se aproxime do maior nº de pontos junto à origem (indicada por ●); e "clicar" sobre os pontos "mais distantes" partindo dos pontos mais à direita da linha (neste caso relativos aos efeitos dos factores A, B e AB) para os individualizar, como "significativos" para explicar a variável-resposta.


A:\2_2Factorial.dx6 - Design-Expert 6.0.0
File Edit View Display Options Design Tools Help
Notes for 2_2Factorial.dx6
Design
Status
Evaluation
Analysis
Tempo(Analyzed)
Optimization
Numerical
Graphical
Point Prediction
Transform Effects ANOVA Diagnostics Model Graphs
Use your mouse to right click on individual cells for definitions.
Response: Tempo
ANOVA for Selected Factorial Model
Analysis of variance table [Partial sum of squares]
Source Sum of Squares DF Mean Square F Value Prob > F
Model 291.67 3 97.22 24.82 0.0002 significant
A 8.33 1 8.33 2.13 0.1828
B 75.00 1 75.00 19.15 0.0024
AB 208.33 1 208.33 53.19 < 0.0001
Pure Error 31.33 8 3.92
Cor Total 323.00 11
Std. Dev. 1.98 R-Squared 0.9030
Mean 27.50 Adj R-Squared 0.8666
C.V. 7.20 Pred R-Squared 0.7817
PRESS 70.50 Adeq Precision 11.669
The "Pred R-Squared" of 0.7817 is in reasonable agreement with the "Adj R-Squared" of 0.8666.
"Adeq Precision" measures the signal to noise ratio. A ratio greater than 4 is desirable. Your ratio of 11.669 indicates an adequate signal. This model can be used to navigate the design space.
Factor Coefficient Estimate DF Standard Error 95% CI Low 95% CI High VIF
Intercept 27.50 1 0.57 26.18 28.82
A-Quantidade 0.83 1 0.57 -0.48 2.15 1.00
B-Temperatura -2.50 1 0.57 -3.82 -1.18 1.00
AB 4.17 1 0.57 2.85 5.48 1.00
Final Equation in Terms of Coded Factors:
Tempo =
+27.50
+0.83 * A
-2.50 * B
+4.17 * A * B

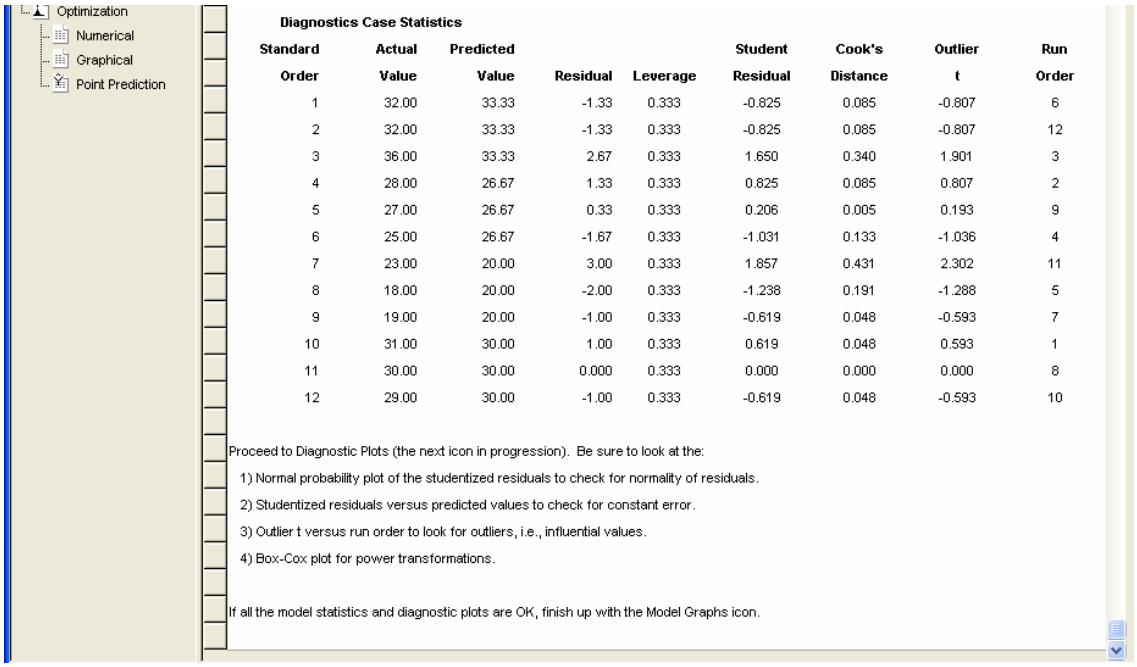
#21. Seleccionar **ANOVA** [botão no menu do topo]... O segundo passo da análise. Surgem vários resultados: 1º Tabela da ANOVA, em que interessam **`F value`** (o f_{obs}) e **`Prob>F`** (o *p-value*). Se `Prob>F` for significativo, i.e. o seu valor < α, então o modelo matemático que inclui os factores especificados (neste caso, A, B e AB) é útil para "explicar" os resultados observados da variável-resposta (neste caso, o tempo de processamento). Apesar de se constatar que o factor A (Quantidade, neste caso) não é significativo, a "hierarquia" do modelo impõe a sua inclusão porque não faz sentido considerando que a interacção entre os factores A e B é significativa para explicar os resultados.


A:\2_2Factorial.dx6 - Design-Expert 6.0.0
File Edit View Display Options Design Tools Help
Notes for 2_2Factorial.dx6
Design
Status
Evaluation
Analysis
Tempo(Analyzed)
Optimization
Numerical
Graphical
Point Prediction
Transform Effects ANOVA Diagnostics Model Graphs
Std. Dev. 1.98 R-Squared 0.9030
Mean 27.50 Adj R-Squared 0.8666
C.V. 7.20 Pred R-Squared 0.7817
PRESS 70.50 Adeq Precision 11.669
The "Pred R-Squared" of 0.7817 is in reasonable agreement with the "Adj R-Squared" of 0.8666.
"Adeq Precision" measures the signal to noise ratio. A ratio greater than 4 is desirable. Your
ratio of 11.669 indicates an adequate signal. This model can be used to navigate the design space.

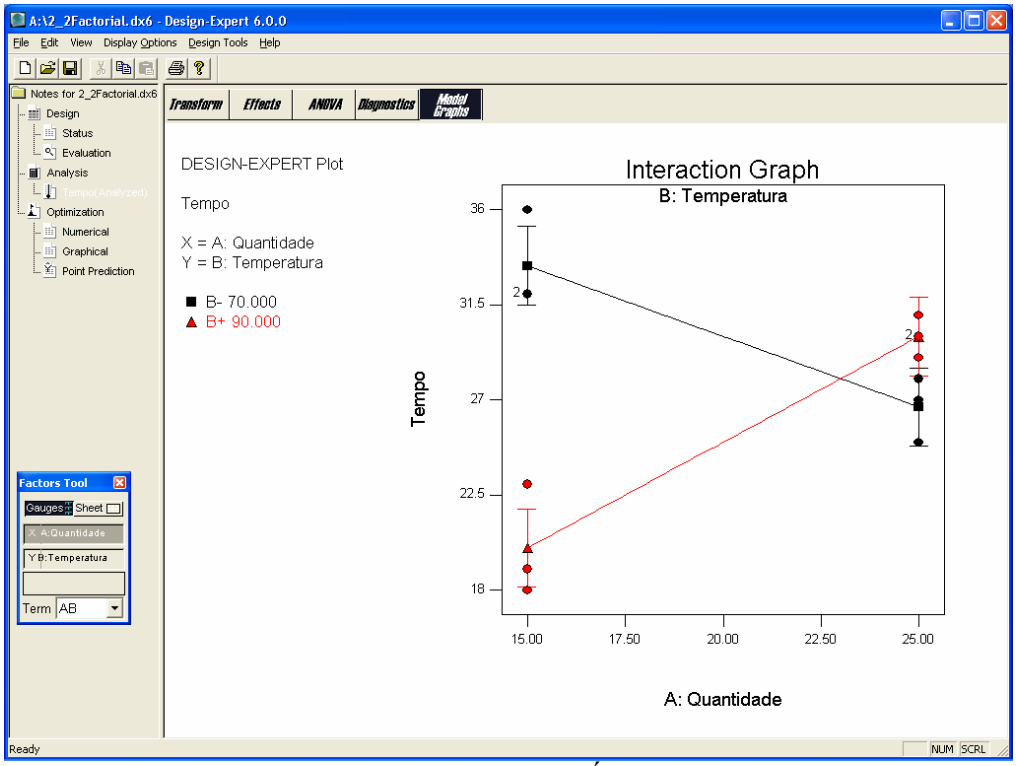
#22. Para complementar a tabela da ANOVA, o *software* fornece mais informação, nomeadamente: a **`PRESS`** (*Predicted Residual Sum of Squares*) ou Soma Prevista dos Quadrados dos Resíduos, uma medida do ajuste do modelo obtido a cada um dos resultados obtidos (quanto menor, melhor!); o **`Adj R-Squared`** (R^2 ajustado) e o **`Pred R-Squared`** (R^2 previsto), uma medida da porção da variabilidade numa "futura" exepriência, em tudo semelhante a esta, explicada pelo modelo obtido (estas duas quantidades devem ser similares!); e a **`Adeq Precision`**, mede a diferença entre a resposta prevista (ou esperada) e o erro associado (uma razão> 4 é desejável). Pode prosseguir-se a análise dos resultados. Na *scroll-bar* à direita, percorrer restantes resultados que se apresentam e comentam nas figuras seguintes....



#23. Resultados *post*-ANOVA... Apresentam-se as estimativas dos coeficientes do modelo dos efeitos (para os níveis dos factores codificados como –1 e +1, *i.e.* **`Final Equation in terms of Coded Factors`**), assim como o modelo (de regressão) dos efeitos (… **`Actual factors`**).


Optimization
Numerical
Graphical
Point Prediction
Diagnostics Case Statistics
Standard Order | Actual Value | Predicted Value | Residual | Leverage | Student Residual | Cook's Distance | Outlier t | Run Order
1 | 32.00 | 33.33 | -1.33 | 0.333 | -0.825 | 0.085 | -0.807 | 6
2 | 32.00 | 33.33 | -1.33 | 0.333 | -0.825 | 0.085 | -0.807 | 12
3 | 36.00 | 33.33 | 2.67 | 0.333 | 1.650 | 0.340 | 1.901 | 3
4 | 28.00 | 26.67 | 1.33 | 0.333 | 0.825 | 0.085 | 0.807 | 2
5 | 27.00 | 26.67 | 0.33 | 0.333 | 0.206 | 0.005 | 0.193 | 9
6 | 25.00 | 26.67 | -1.67 | 0.333 | -1.031 | 0.133 | -1.036 | 4
7 | 23.00 | 20.00 | 3.00 | 0.333 | 1.857 | 0.431 | 2.302 | 11
8 | 18.00 | 20.00 | -2.00 | 0.333 | -1.238 | 0.191 | -1.288 | 5
9 | 19.00 | 20.00 | -1.00 | 0.333 | -0.619 | 0.048 | -0.593 | 7
10 | 31.00 | 30.00 | 1.00 | 0.333 | 0.619 | 0.048 | 0.593 | 1
11 | 30.00 | 30.00 | 0.000 | 0.333 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 8
12 | 29.00 | 30.00 | -1.00 | 0.333 | -0.619 | 0.048 | -0.593 | 10
Proceed to Diagnostic Plots (the next icon in progression). Be sure to look at the:
1) Normal probability plot of the studentized residuals to check for normality of residuals.
2) Studentized residuals versus predicted values to check for constant error.
3) Outlier t versus run order to look for outliers, i.e., influential values.
4) Box-Cox plot for power transformations.
If all the model statistics and diagnostic plots are OK, finish up with the Model Graphs icon.

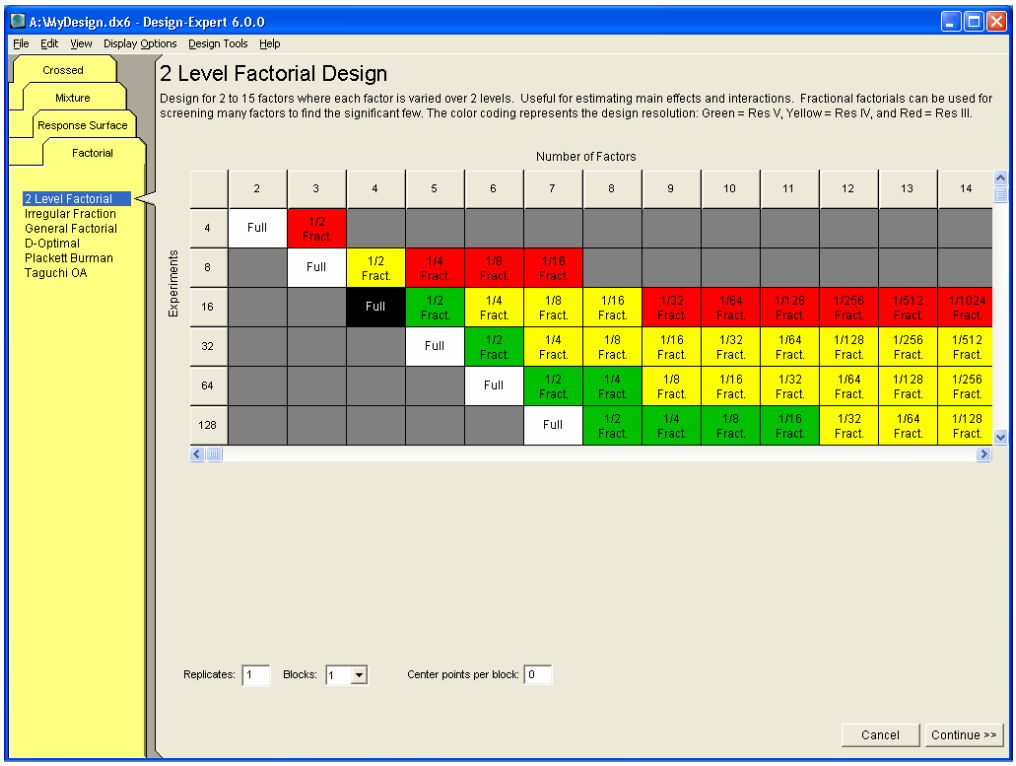
#24. Mais resultados *post*-ANOVA... No diagnóstico dos resultados (**`Diagnostics case statistics`**), apresentam-se os valores observados e esperados da variável-resposta (**`Actual values`** e **`Predicted values`**), os resíduos (sob várias formas), etc. Interessam os valores de **`Outlier t`**. Completar o "diagnóstico" com a análise gráfica dos resíduos (para verificação dos pressupostos e para garantir a validade dos resultados da análise estatística). Neste caso, nada de errado há a assinalar!



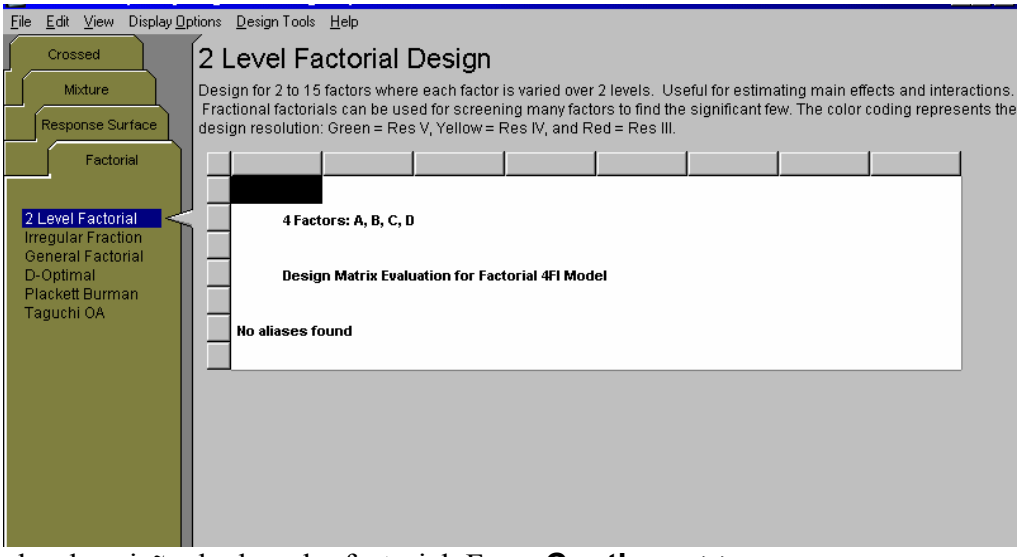
#25. Seleccionar **Model Graphs** [no menu do topo]. É possível obter uma série de gráficos que ilustram os efeitos dos vários factores (e/ou combinações de factores) significativos sobre a variável-resposta. Escolhendo no menu flutuante (**Factors Tool**) os termos (**Term**) do modelo obtido, surge na janela principal o gráfico e a respectiva legenda. **Atenção às interacções entre factores. Nestes casos, os efeitos dos factores *per se* são virtualmente irrelevantes!**

Experiências factoriais 2^k com mais de dois factores

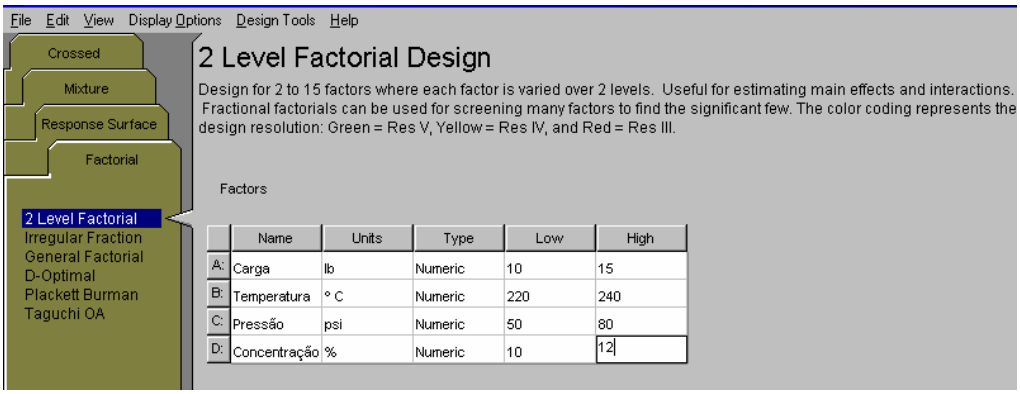
Problema: Deseja-se estudar o efeito de quatro factores sobre a taxa de conversão de determinado mecanismo. Para isso, realizou-se uma experiência que envolvia dois níveis de cada um dos seguintes factores: carga do catalizador (10 lb e 15 lb), temperatura (220 ºC e 240 ºC), pressão (50 psi e 80 psi) e concentração (10% e 12%). O planeamento desta experiência factorial 2^4 inicia-se com:


A:\MyDesign.dx6 - Design-Expert 6.0.0
File Edit View Display Options Design Tools Help
Crossed
Mixture
Response Surface
Factorial
2 Level Factorial
Irregular Fraction
General Factorial
D-Optimal
Plackett Burman
Taguchi OA
2 Level Factorial Design
Design for 2 to 15 factors where each factor is varied over 2 levels. Useful for estimating main effects and interactions. Fractional factorials can be used for screening many factors to find the significant few. The color coding represents the design resolution: Green = Res V, Yellow = Res IV, and Red = Res III.
Number of Factors
Experiments
Replicates: 1
Blocks: 1
Center points per block: 0
Cancel
Continue >>

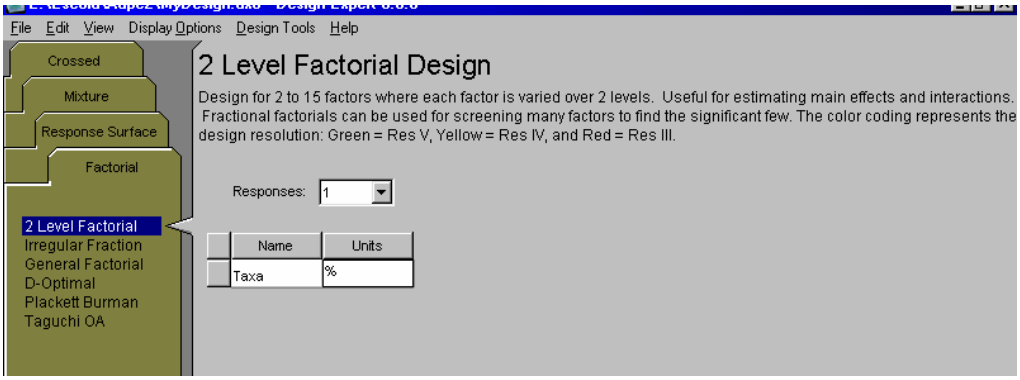
#26. Depois de iniciado o programa, seleccionar **File > Build design... > 2-Level factorial**. Seleccionar a célula que corresponde ao desenho factorial pretendido, neste caso a experiência envolve 4 factores (Number of factors) e pretende-se realizar número igual de experiências por cada nível/tratamento do factor (i.e. Full). Fazer **Continue >>.**


File Edit View Display Options Design Tools Help
Crossed
Mixture
Response Surface
Factorial
2 Level Factorial
Irregular Fraction
General Factorial
D-Optimal
Plackett Burman
Taguchi OA
2 Level Factorial Design
Design for 2 to 15 factors where each factor is varied over 2 levels. Useful for estimating main effects and interactions. Fractional factorials can be used for screening many factors to find the significant few. The color coding represents the design resolution: Green = Res V, Yellow = Res IV, and Red = Res III.
4 Factors: A, B, C, D
Design Matrix Evaluation for Factorial 4FI Model
No aliases found

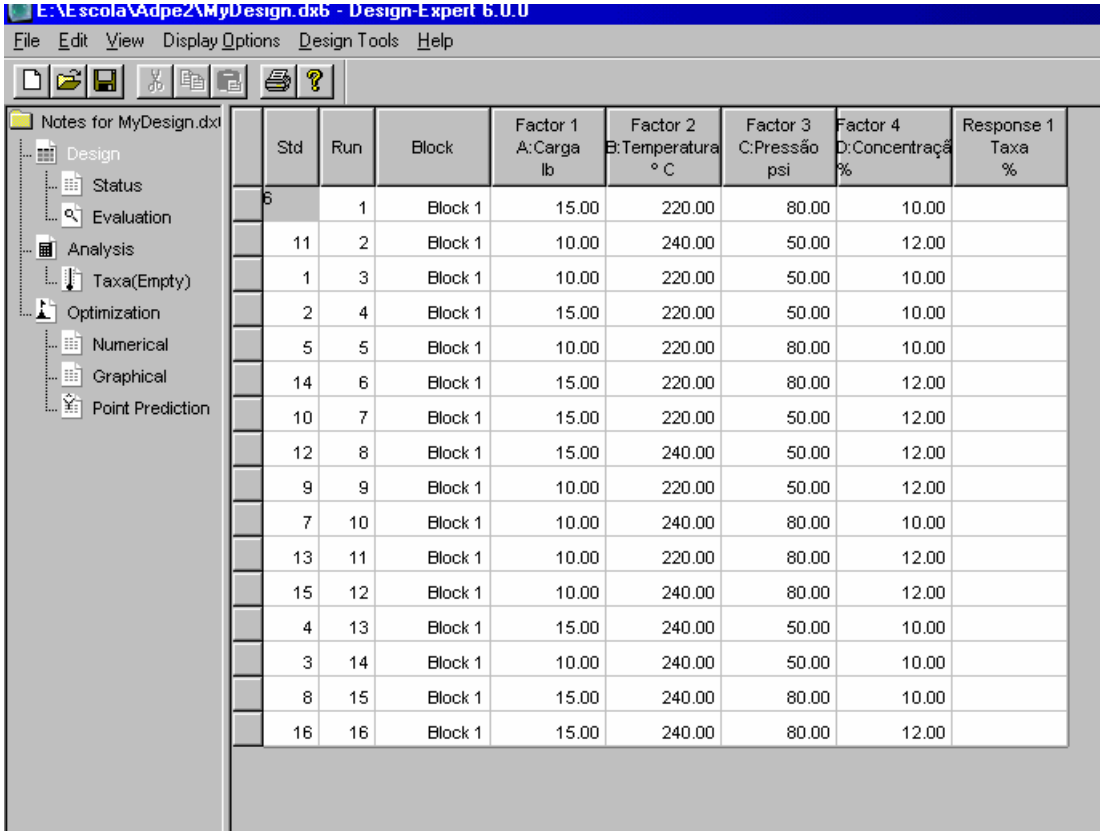
#27. Simples descrição do desenho factorial. Fazer **Continue >>**


File Edit View Display Options Design Tools Help
Crossed
Mixture
Response Surface
Factorial
2 Level Factorial
Irregular Fraction
General Factorial
D-Optimal
Plackett Burman
Taguchi OA
2 Level Factorial Design
Design for 2 to 15 factors where each factor is varied over 2 levels. Useful for estimating main effects and interactions. Fractional factorials can be used for screening many factors to find the significant few. The color coding represents the design resolution: Green = Res V, Yellow = Res IV, and Red = Res III.
Factors
Name Units Type Low High
A: Carga lb Numeric 10 15
B: Temperatura ° C Numeric 220 240
C: Pressão psi Numeric 50 80
D: Concentração % Numeric 10 12

#28. Preencher com "pormenores" descritivos dos factores e níveis desses factores. As indicações Low e High correspondem aos dois níveis dos factores. Fazer **Continue >>**

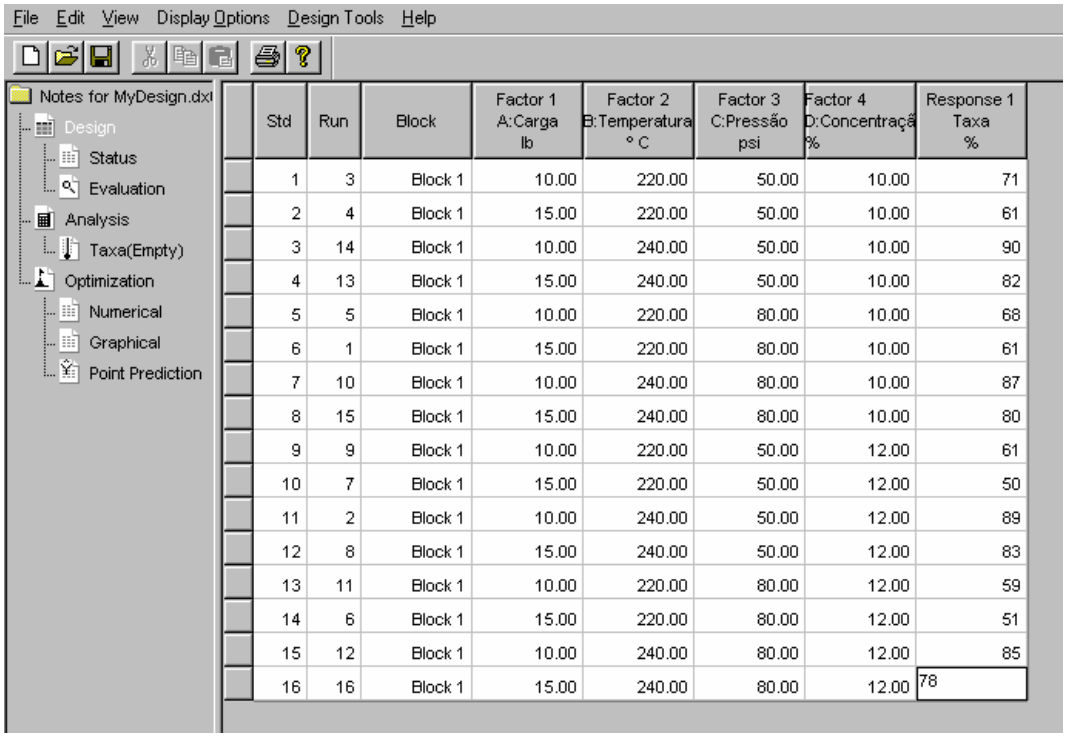

File Edit View Display Options Design Tools Help
Crossed
Mixture
Response Surface
Factorial
2 Level Factorial
Irregular Fraction
General Factorial
D-Optimal
Plackett Burman
Taguchi OA
2 Level Factorial Design
Design for 2 to 15 factors where each factor is varied over 2 levels. Useful for estimating main effects and interactions. Fractional factorials can be used for screening many factors to find the significant few. The color coding represents the design resolution: Green = Res V, Yellow = Res IV, and Red = Res III.
Responses: 1
Name Units
Taxa %

#29. Acrescentar "pormenores" da(s) variável-resposta. Fazer **Continue >>**



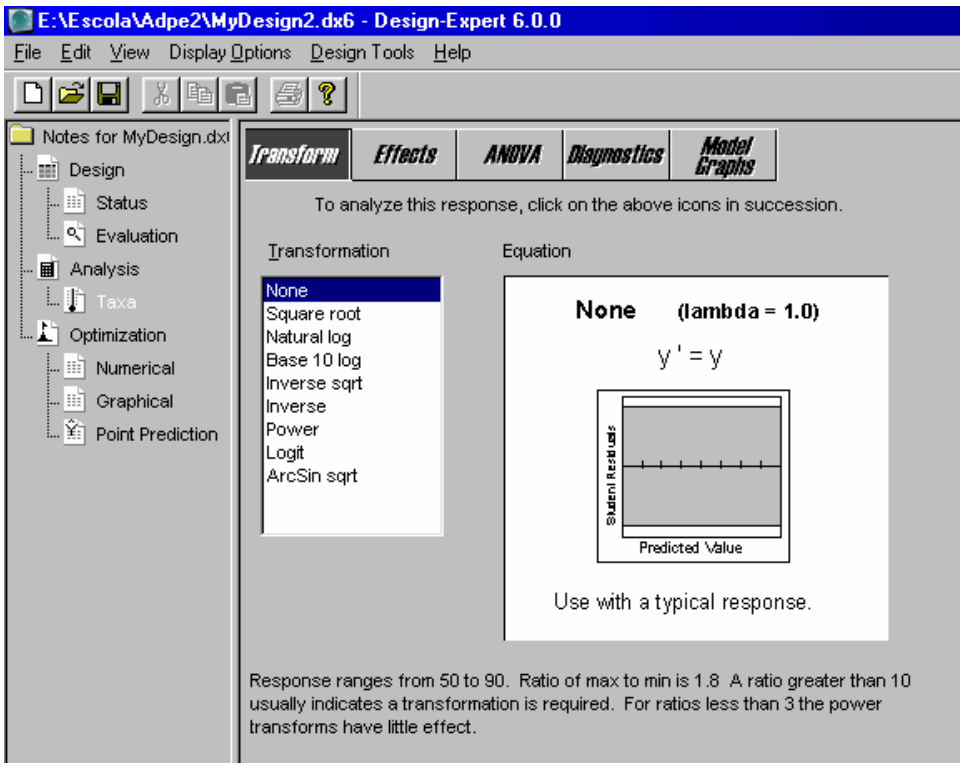
Std	Run	Block	Factor 1 A:Carga lb	Factor 2 B:Temperatura ° C	Factor 3 C:Pressão psi	Factor 4 D:Concentração %	Response 1 Taxa %
6	1	Block 1	15.00	220.00	80.00	10.00	
11	2	Block 1	10.00	240.00	50.00	12.00	
1	3	Block 1	10.00	220.00	50.00	10.00	
2	4	Block 1	15.00	220.00	50.00	10.00	
5	5	Block 1	10.00	220.00	80.00	10.00	
14	6	Block 1	15.00	220.00	80.00	12.00	
10	7	Block 1	15.00	220.00	50.00	12.00	
12	8	Block 1	15.00	240.00	50.00	12.00	
9	9	Block 1	10.00	220.00	50.00	12.00	
7	10	Block 1	10.00	240.00	80.00	10.00	
13	11	Block 1	10.00	220.00	80.00	12.00	
15	12	Block 1	10.00	240.00	80.00	12.00	
4	13	Block 1	15.00	240.00	50.00	10.00	
3	14	Block 1	10.00	240.00	50.00	10.00	
8	15	Block 1	15.00	240.00	80.00	10.00	
16	16	Block 1	15.00	240.00	80.00	12.00	

#30. Plano da experiência. Importante realizar a experiência seguindo a ordem indicada pela coluna *Run*!! É possível guardar este esquema, fazendo **File > Save As**...

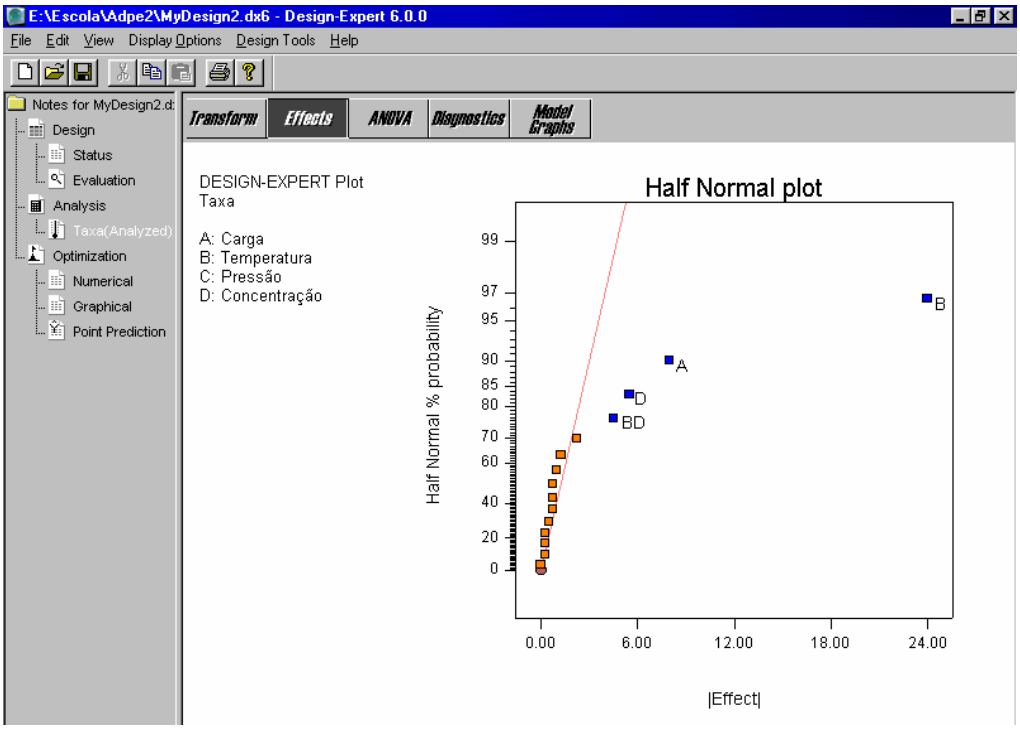


	Std	Run	Block	Factor 1 A:Carga lb	Factor 2 B:Temperatura °C	Factor 3 C:Pressão psi	Factor 4 D:Concentraçã %	Response 1 Taxa %
	1	3	Block 1	10.00	220.00	50.00	10.00	71
	2	4	Block 1	15.00	220.00	50.00	10.00	61
	3	14	Block 1	10.00	240.00	50.00	10.00	90
	4	13	Block 1	15.00	240.00	50.00	10.00	82
	5	5	Block 1	10.00	220.00	80.00	10.00	68
	6	1	Block 1	15.00	220.00	80.00	10.00	61
	7	10	Block 1	10.00	240.00	80.00	10.00	87
	8	15	Block 1	15.00	240.00	80.00	10.00	80
	9	9	Block 1	10.00	220.00	50.00	12.00	61
	10	7	Block 1	15.00	220.00	50.00	12.00	50
	11	2	Block 1	10.00	240.00	50.00	12.00	89
	12	8	Block 1	15.00	240.00	50.00	12.00	83
	13	11	Block 1	10.00	220.00	80.00	12.00	59
	14	6	Block 1	15.00	220.00	80.00	12.00	51
	15	12	Block 1	10.00	240.00	80.00	12.00	85
	16	16	Block 1	15.00	240.00	80.00	12.00	78

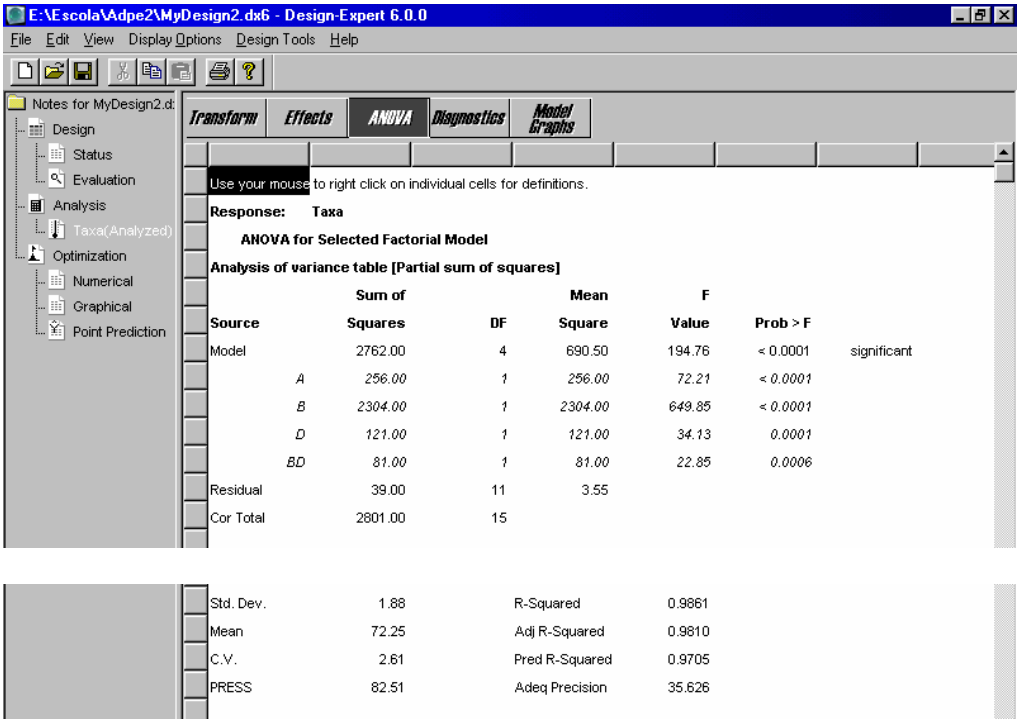
#31. Depois de realizada a experiência, introduzem-se os resultados obtidos na última coluna. O quadro está ordenado pela coluna *Std* para facilitar a introdução dos dados!



#32. Seleccionar **Analysis > Taxa...** no painel da esquerda. Surge o primeiro passo da análise estatística dos resultados, **Transform** [botão no menú no topo] Existem várias opções para a eventual transformação dos dados. Contudo, neste caso não parece ser necessário.

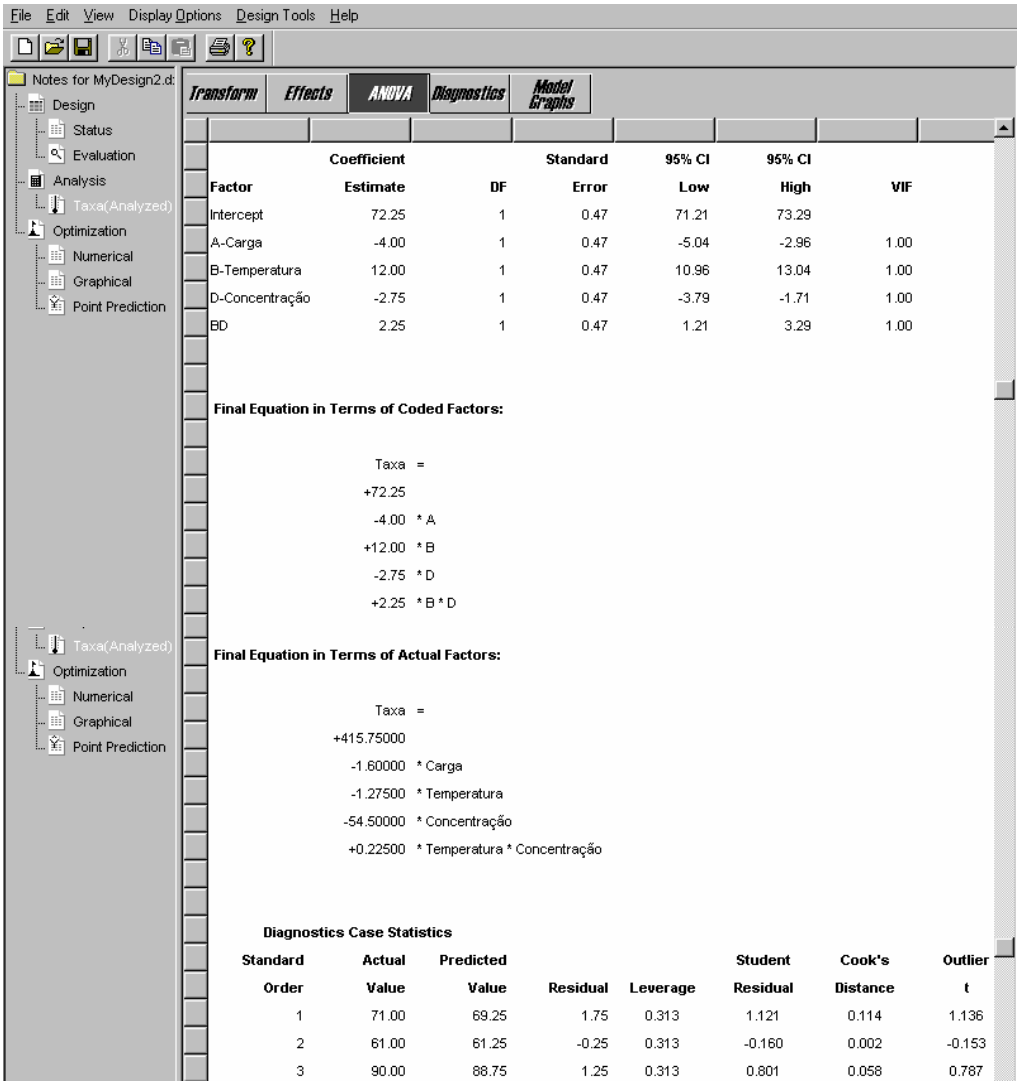


#33. Seleccionar **Effects...** [no botão do menu do topo]. O programa apresenta graficamente quais dos factores, incluindo possíveis interacções, são significativos para "explicar" a variável-resposta (através dum `Half-Normal Probability plot`). Se isso não acontecer "por defeito", é possível obter os resultados apresentados nesta figura da seguinte forma: com o rato deslocar a linha vermelha para que se aproxime do maior nº de pontos junto à origem (indicada por ●); e "clicar" sobre os pontos "mais distantes" parindo dos pontos mais à direita da linha (neste caso relativos aos efeitos dos factores B, A, D e BD) para os individualizar, como "significativos" para explicar a variável-resposta. Seleccionando **View > Effects List**… surge uma lista com os valores numéricos ilustrados na figura.

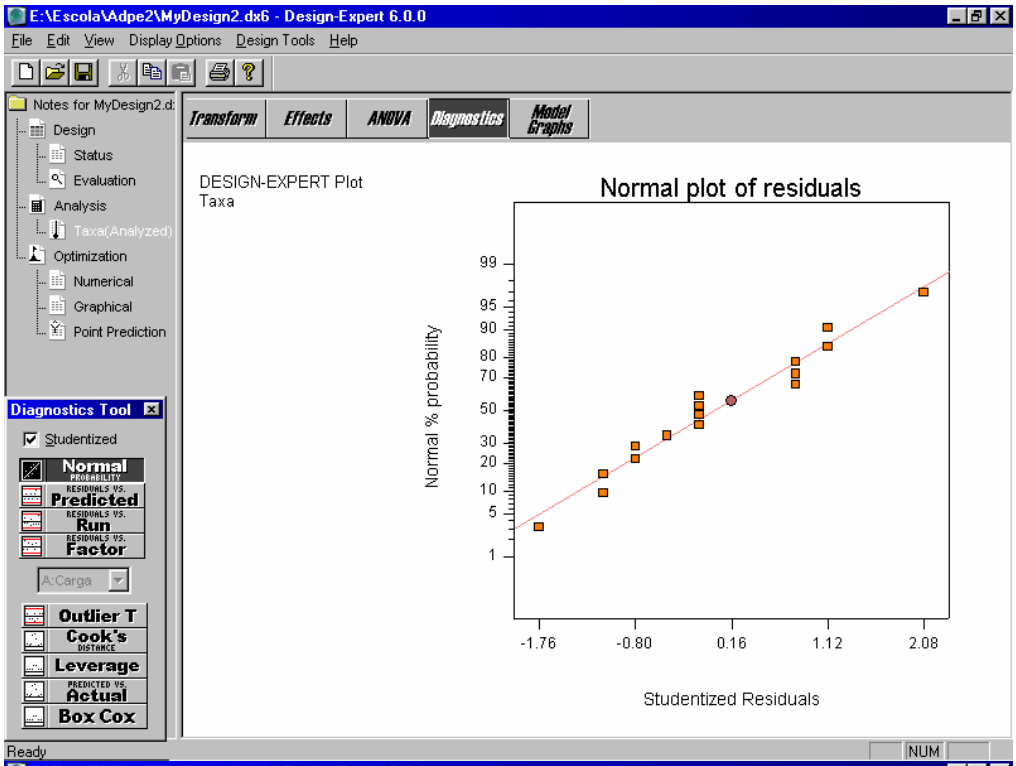

E:\Escola\Adpe2\MyDesign2.dx6 - Design-Expert 6.0.0
File Edit View Display Options Design Tools Help
Notes for MyDesign2.d
Design
Status
Evaluation
Analysis
Taxa(Analyzed)
Optimization
Numerical
Graphical
Point Prediction
Transform Effects ANOVA Diagnostics Model Graphs
Use your mouse to right click on individual cells for definitions.
Response: Taxa
ANOVA for Selected Factorial Model
Analysis of variance table [Partial sum of squares]
Source | Sum of Squares | DF | Mean Square | F Value | Prob > F
Model | 2762.00 | 4 | 690.50 | 194.76 | < 0.0001 | significant
A | 256.00 | 1 | 256.00 | 72.21 | < 0.0001
B | 2304.00 | 1 | 2304.00 | 649.85 | < 0.0001
D | 121.00 | 1 | 121.00 | 34.13 | 0.0001
BD | 81.00 | 1 | 81.00 | 22.85 | 0.0006
Residual | 39.00 | 11 | 3.55
Cor Total | 2801.00 | 15
Std. Dev. | 1.88 | R-Squared | 0.9861
Mean | 72.25 | Adj R-Squared | 0.9810
C.V. | 2.61 | Pred R-Squared | 0.9705
PRESS | 82.51 | Adeq Precision | 35.626

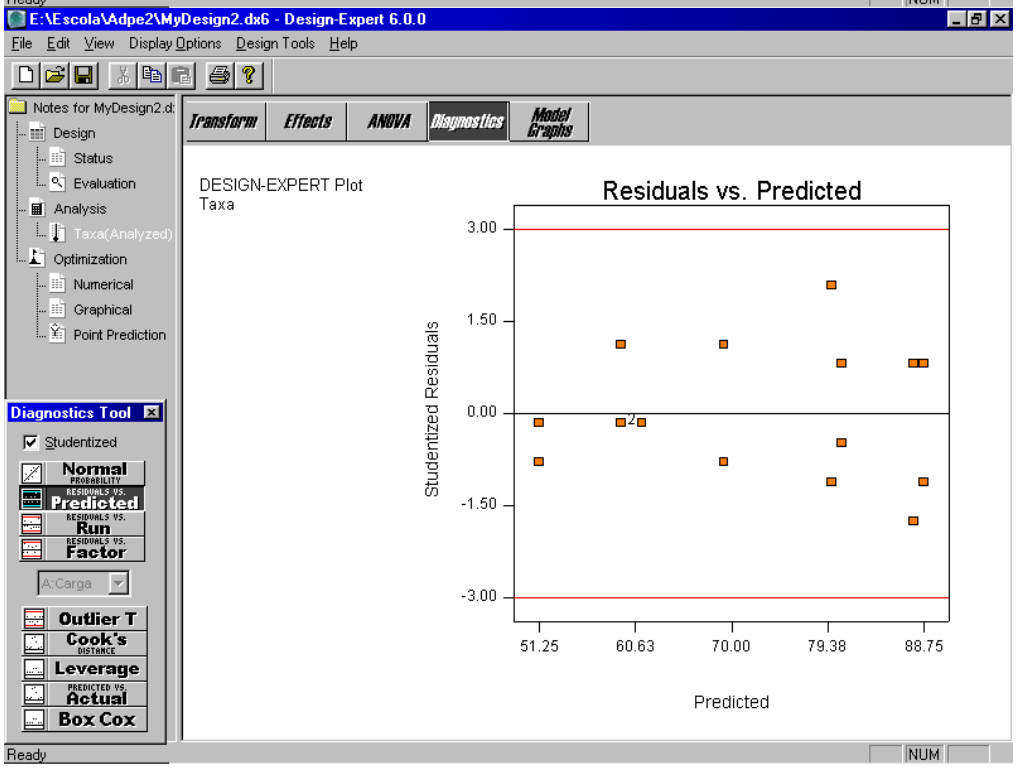
#34. Seleccionar **ANOVA** [botão no menu do topo]... O segundo passo da análise. Surgem vários resultados: 1º Tabela da ANOVA, em que interessam **`F value`** (o f_{obs}) e **`Prob>F`** (o *p-value*).

Se `Prob>F` for significativo, i.e. o seu valor < α, então o modelo matemático que inclui os factores especificados (neste caso, A, B, D e BD) é útil para "explicar" os resultados observados da variável-resposta (neste caso, a taxa de conversão). Para complementar a tabela da ANOVA, o *software* fornece mais informação, nomeadamente: a **`PRESS`** (*Predicted Residual Sum of Squares*), uma medida do ajuste do modelo obtido a cada uma das observações (quanto menor, melhor!); o **`Adj R-Squared`** (R^2 ajustado) e o **`Pred R-Squared`** (R^2 previsto), uma medida da porção da variabilidade numa "futura" exepriência, em tudo semelhante a esta, explicada pelo modelo obtido (estas duas quantidades devem ser similares!); e a **`Adeq Precision`**, que mede a diferença entre a resposta prevista (ou esperada) e o erro associado (uma razão> 4 é desejável). Pode prosseguir-se a análise dos resultados. Na *scroll-bar* à direita, percorrer restantes resultados que se apresentam em baixo....



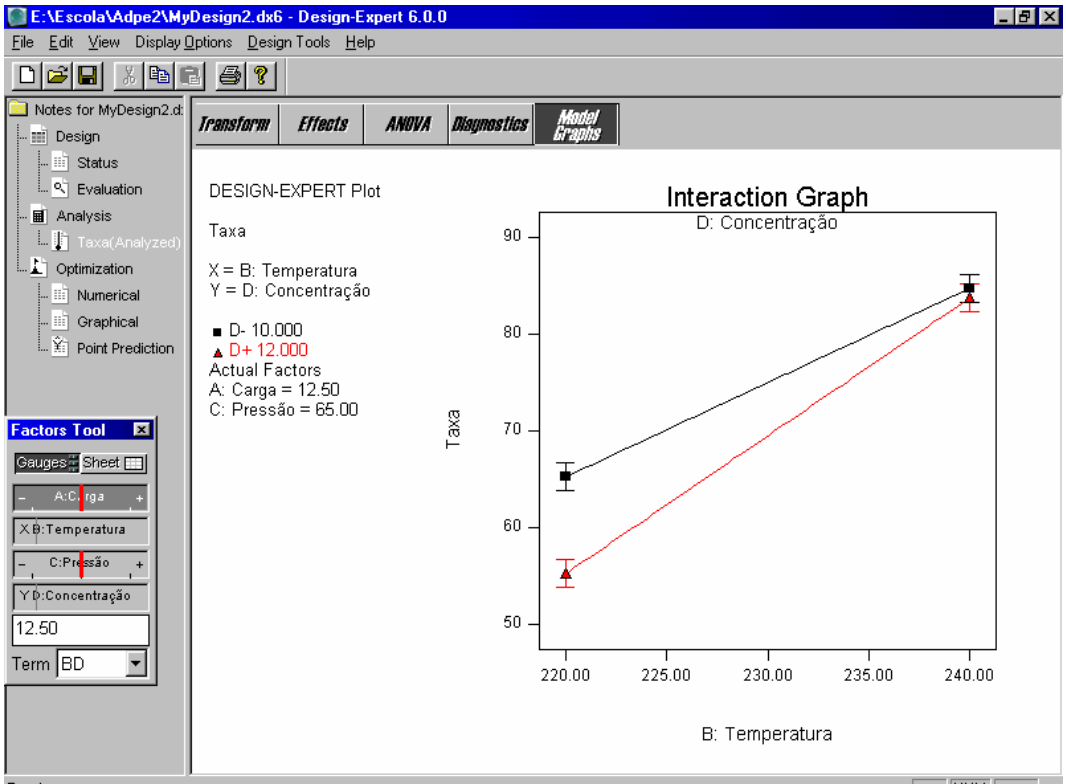
#35. Resultados pós-ANOVA... Apresentam-se as estimativas dos coeficientes do modelo dos efeitos (para os níveis dos factores codificados como –1 e +1, i.e. **`Final Equation in Terms of Coded Factors`**), assim como para o modelo (de regressão) dos efeitos (… **`Actual factors`**). No diagnóstico dos resultados (**`Diagnostics case statistics`**), apresentam-se os valores observados e esperados da variável-resposta (**`Actual values`** e **`Predicted values`**), os resíduos (sob várias formas), etc. Interessam os valores de **`Outlier t`**. Completar o "diagnóstico" com a análise gráfica dos resíduos (para verificação dos pressupostos e para garantir a validade dos resultados da análise estatística).

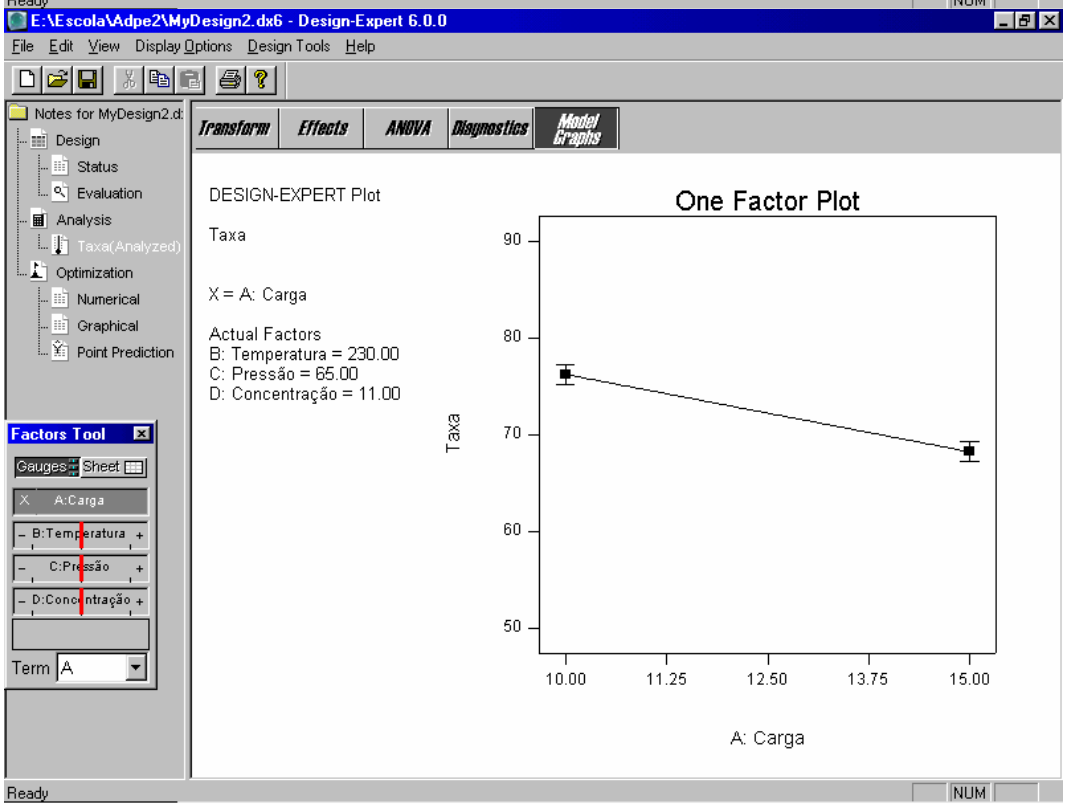




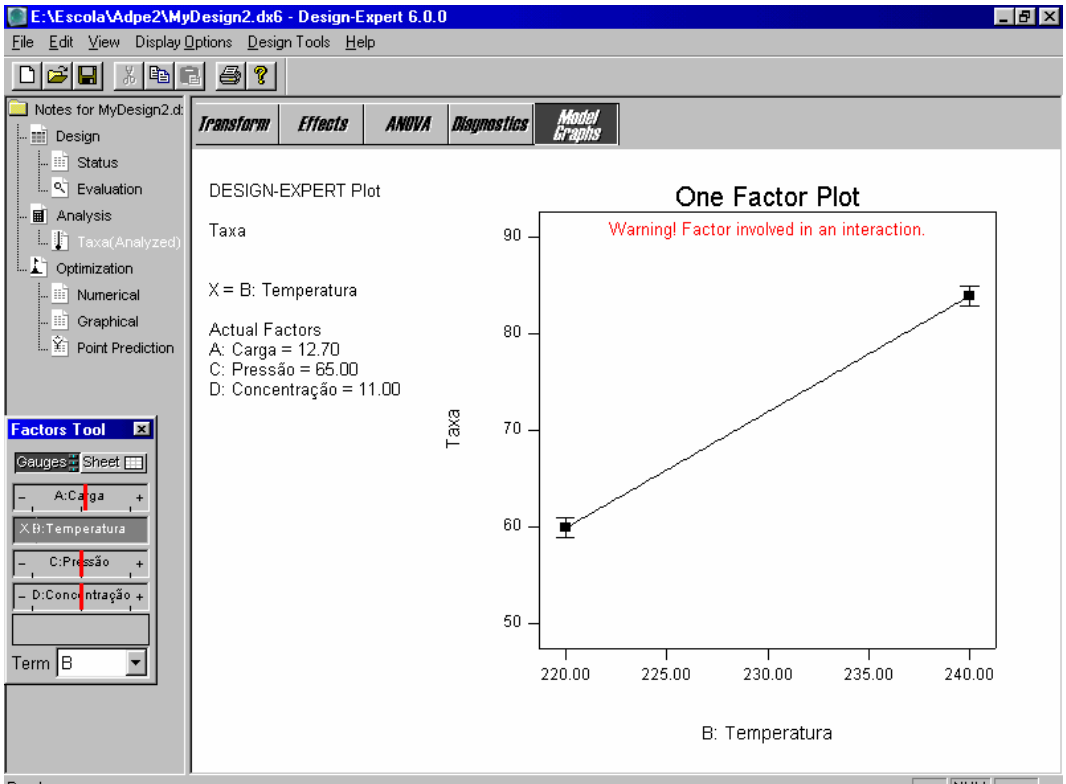
#36. Para avaliar a "qualidade" da análise estatística anterior e a "credibilidade" das conclusões extraídas... Seleccionar **Diagnostics** [botão no menu do topo], das várias possibilidades interessam: 1º **Normal plot of residuals** (que permite analisar a normalidade dos erros, um dos pressupostos da ANOVA; se os pontos se desviarem da linha, então é possível que os erros não se distribuam normalmente); 2º **Residuals vs. Predicted** (que permite verificar a homogeneidade das variâncias, outro pressuposto da ANOVA; se se observar alguma tendência, então é possível que as variâncias não sejam homogéneas). Podem, ainda, observar-se os gráficos **Residuals vs. Run**, para verificar a independências das observações, **Cook's distance**, para analisar a "contribuição relativa" de cada uma das observações para o modelo

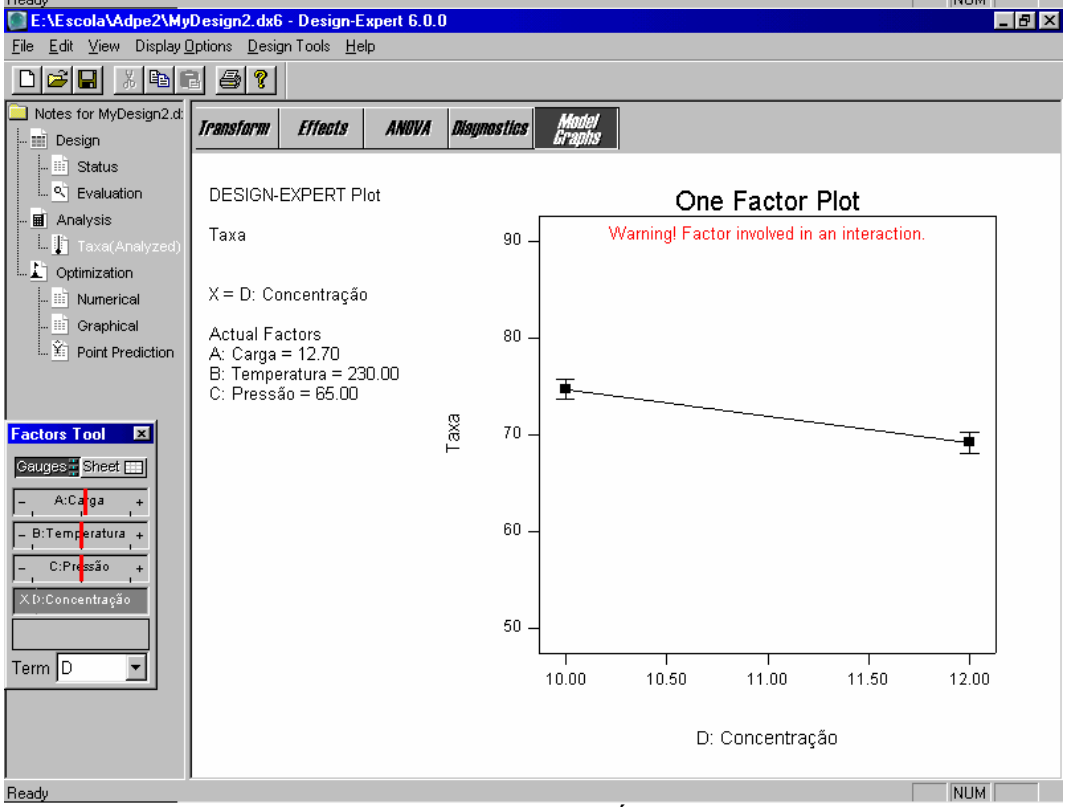
obtido, e **Outlier *T***, para identificar observações muito extremas. Se tudo parecer "em ordem", continuar...





(continua)

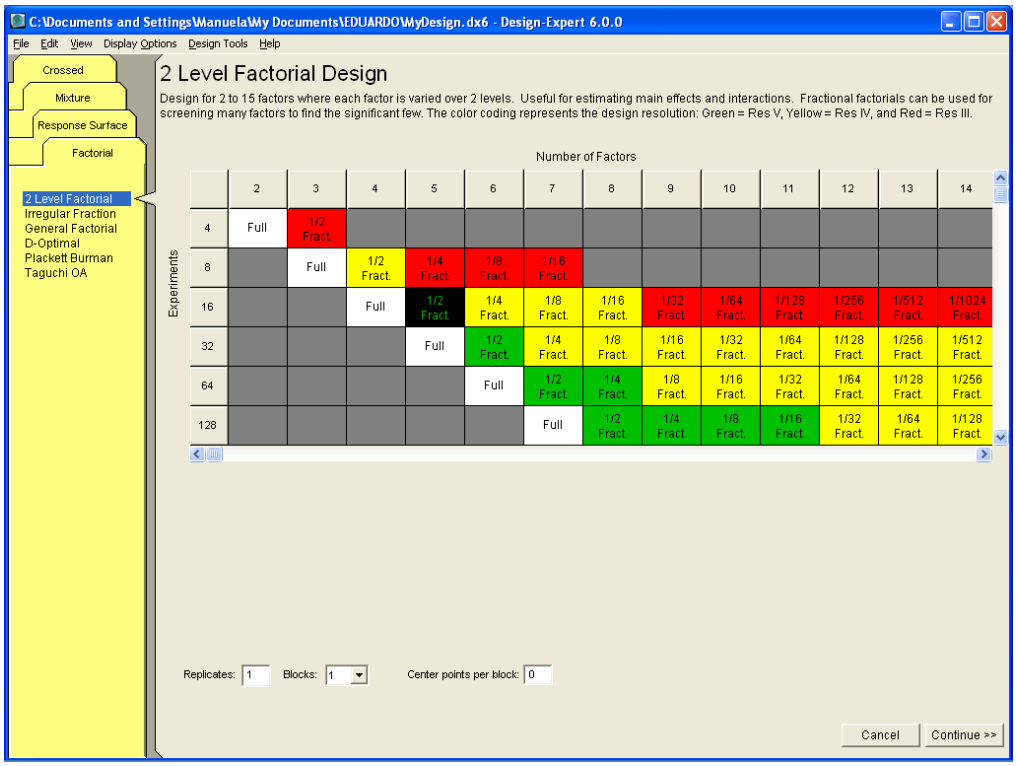




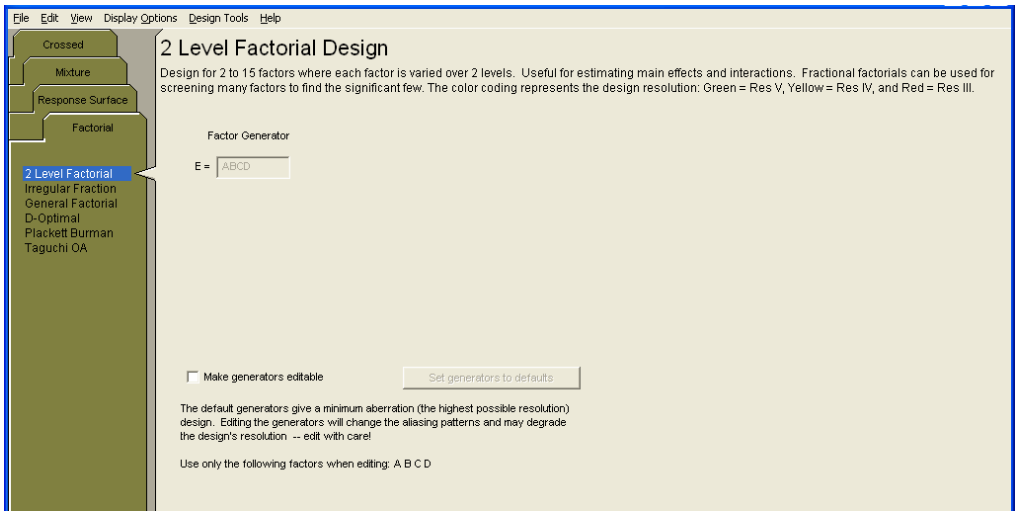
#37. Seleccionar **Model Graphs** [no menu do topo]. É possível obter uma série de gráficos que ilustram os efeitos dos vários factores (e/ou combinações de factores) significativos sobre a variável-resposta. Escolhendo no menu flutuante (**Factors Tool**) os termos (**Term**) do modelo obtido, surge na janela principal o gráfico e a respectiva legenda, que permite a sua interpretação. Surgem também avisos acerca da análise dos resultados! **Atenção às interacções entre factores. Nestes casos, os efeitos dos factores *per se* são virtualmente irrelevantes!** Neste caso, apresentam-se os gráficos individuais relativos aos factores B (temperatura) e D (concentração) por curiosidade.

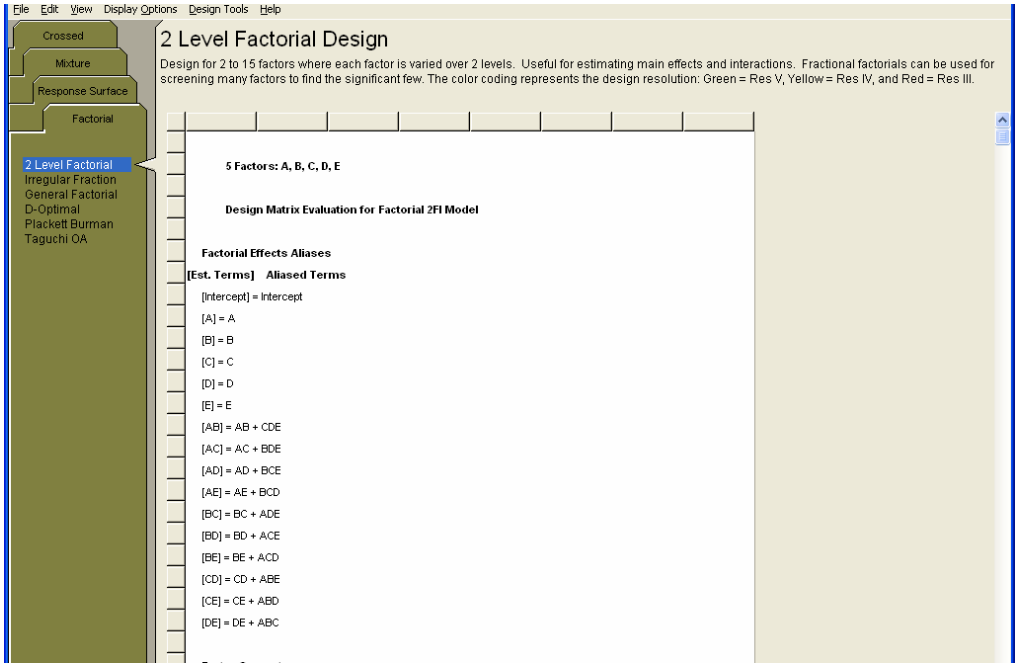
Experiências factoriais 2^k incompletas

Problema: Pretende-se estudar qual ou quais dos seguintes cinco factores (mais) influencia a Taxa de reacção de determinado produto (%): a Taxa de alimentação (L/min.), a Percentagem de catalisador (%), a Velocidade de agitação (em rpm), a Temperatura (ºC) e/ou a Concentração da solução inicial (%). Os dois níveis seleccionados para cada variável apresentam-se na figura #40 (p. 24). Uma vez que numa experiência factorial completa corresponderia, no mín., a realizar 32 ensaios (2^5=32), decidiu-se usar um plano (desenho) experimental incompleto (neste caso, realizar apenas metade dos ensaios).

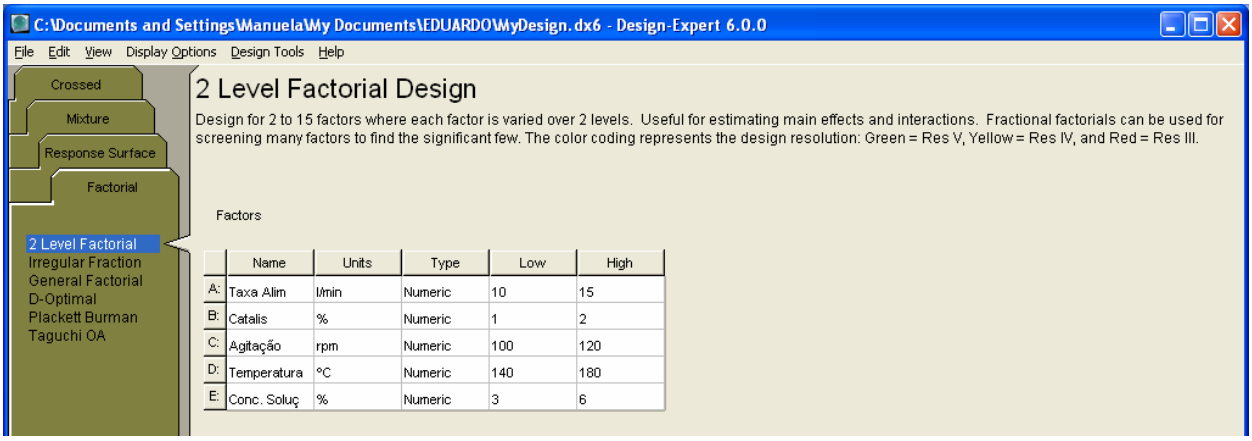

C:\Documents and Settings\Manuela\My Documents\EDUARDO\MyDesign.dx6 - Design-Expert 6.0.0
File Edit View Display Options Design Tools Help
Crossed
Mixture
Response Surface
Factorial
2 Level Factorial
Irregular Fraction
General Factorial
D-Optimal
Plackett Burman
Taguchi OA
2 Level Factorial Design
Design for 2 to 15 factors where each factor is varied over 2 levels. Useful for estimating main effects and interactions. Fractional factorials can be used for screening many factors to find the significant few. The color coding represents the design resolution: Green = Res V, Yellow = Res IV, and Red = Res III.
Number of Factors
Experiments
Replicates: 1
Blocks: 1
Center points per block: 0
Cancel
Continue >>

#38. No DX®6, seleccionar **File > Build design... > 2-Level factorial** e de entre as opções possíveis escolher na tabela aquela que corresponde a cinco factores (Number of Factors) e metade dos ensaios (1/2 Fract.) – a "célula" a preto perto do centro da imagem. A coloração das células depende da "resolução" dessas experiências. Assim, as células brancas na tabela correspondem a desenhos experimentais completos (com os quais se estudam todas as combinações possíveis dos níveis dos factores). As colorações verdes, amarelas e vermelhas para os desenhos experimentais incompletos dependem da "resolução" para "contornar" o facto de não se realizarem todos os ensaios possíveis (apenas metade ½, um quarto ¼, etc.). Como os semáforos de trânsito, verde significa "pode avançar", amarelo quer dizer "avançar com cautela" e vermelho "parar e pensar". Fazer **Continue >>.**


File Edit View Display Options Design Tools Help
Crossed
Mixture
Response Surface
Factorial
2 Level Factorial
Irregular Fraction
General Factorial
D-Optimal
Plackett Burman
Taguchi OA
2 Level Factorial Design
Design for 2 to 15 factors where each factor is varied over 2 levels. Useful for estimating main effects and interactions. Fractional factorials can be used for screening many factors to find the significant few. The color coding represents the design resolution: Green = Res V, Yellow = Res IV, and Red = Res III.
Factor Generator
E = ABCD
Make generators editable
Set generators to defaults
The default generators give a minimum aberration (the highest possible resolution) design. Editing the generators will change the aliasing patterns and may degrade the design's resolution -- edit with care!
Use only the following factors when editing: A B C D


File Edit View Display Options Design Tools Help
2 Level Factorial Design
5 Factors: A, B, C, D, E
Design Matrix Evaluation for Factorial 2FI Model
Factorial Effects Aliases
[Est. Terms] Aliased Terms
[Intercept] = Intercept
[A] = A
[B] = B
[C] = C
[D] = D
[E] = E
[AB] = AB + CDE
[AC] = AC + BDE
[AD] = AD + BCE
[AE] = AE + BCD
[BC] = BC + ADE
[BD] = BD + ACE
[BE] = BE + ACD
[CD] = CD + ABE
[CE] = CE + ABD
[DE] = DE + ABC

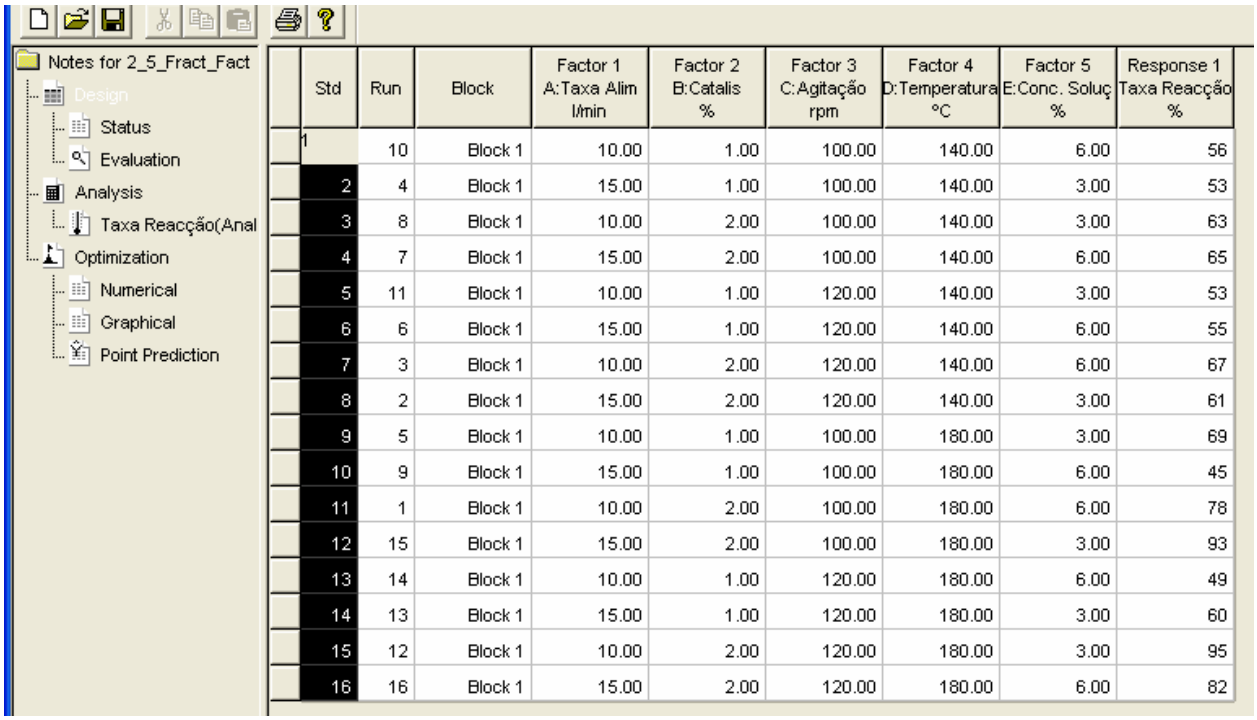
#39. O software informa qual dos factores ou interacções de factores não vai estimar directamente (neste caso vai "misturar" o factor E com a interacção entre os restantes factores, ABCD) e qual a "organização" que vai usar na análise dos dados (designadamente para a estimação/comparação dos efeitos). Fazer **Continue>>** até surgir o ecrã seguinte.


C:\Documents and Settings\Manuela\My Documents\EDUARDO\MyDesign.dx6 - Design-Expert 6.0.0
File Edit View Display Options Design Tools Help
Crossed
Mixture
Response Surface
Factorial
2 Level Factorial
Irregular Fraction
General Factorial
D-Optimal
Plackett Burman
Taguchi OA
2 Level Factorial Design
Design for 2 to 15 factors where each factor is varied over 2 levels. Useful for estimating main effects and interactions. Fractional factorials can be used for screening many factors to find the significant few. The color coding represents the design resolution: Green = Res V, Yellow = Res IV, and Red = Res III.
Factors
Name Units Type Low High
A: Taxa Alim l/min Numeric 10 15
B: Catalis % Numeric 1 2
C: Agitação rpm Numeric 100 120
D: Temperatura °C Numeric 140 180
E: Conc. Soluç % Numeric 3 6

(continua)

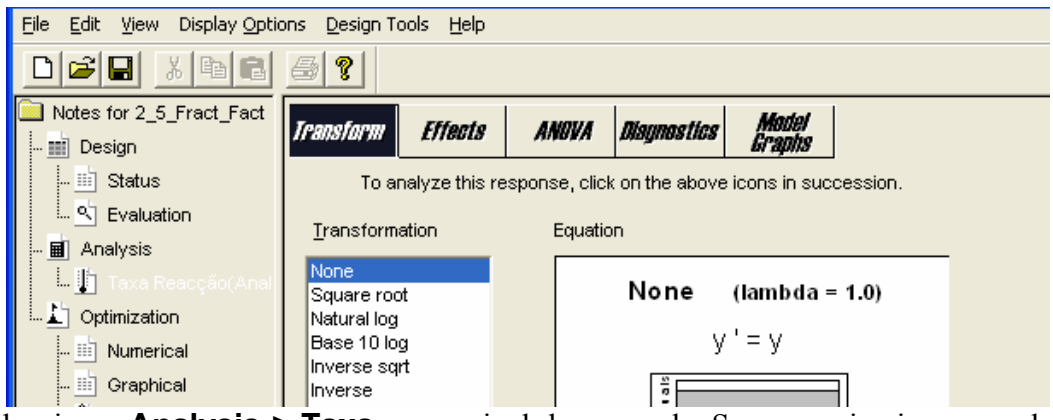
C:\Documents and Settings\Manuela\My Documents\EDUARDO\MyDesign.dx6 - Design-Expert 6.0.0
File Edit View Display Options Design Tools Help
Crossed
Mixture
Response Surface
Factorial
2 Level Factorial
Irregular Fraction
General Factorial
D-Optimal
Plackett Burman
Taguchi OA
2 Level Factorial Design
Design for 2 to 15 factors where each factor is varied over 2 levels. Useful for estimating main effects and interactions. Fractional factorials can be used for screening many factors to find the significant few. The color coding represents the design resolution: Green = Res V, Yellow = Res IV, and Red = Res III.
Responses: 1
Name
Units
Taxa Reacção
%

#40. Preencher com "pormenores" descritivos dos factores e níveis desses factores. As indicações Low e High correspondem aos dois níveis dos factores. Fazer **Continue >>**. Fazer o mesmo para a(s) variável-resposta. Fazer **Continue >>.**



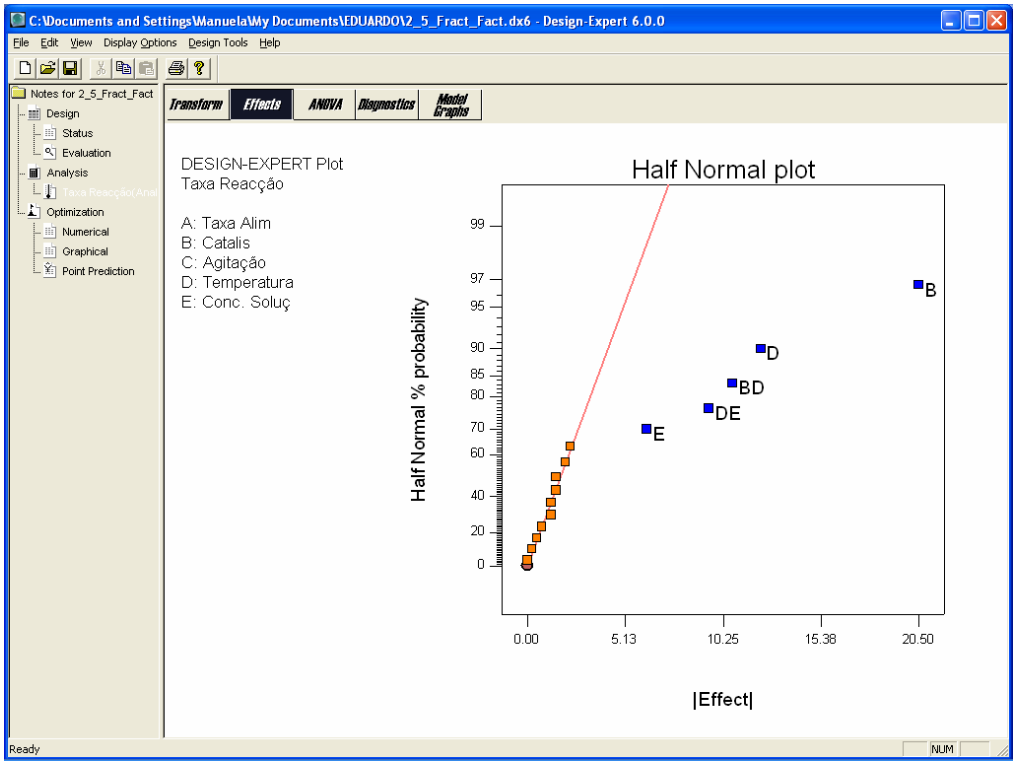
Std	Run	Block	Factor 1 A:Taxa Alim l/min	Factor 2 B:Catalis %	Factor 3 C:Agitação rpm	Factor 4 D:Temperatura °C	Factor 5 E:Conc. Soluç %	Response 1 Taxa Reacção %
1	10	Block 1	10.00	1.00	100.00	140.00	6.00	56
2	4	Block 1	15.00	1.00	100.00	140.00	3.00	53
3	8	Block 1	10.00	2.00	100.00	140.00	3.00	63
4	7	Block 1	15.00	2.00	100.00	140.00	6.00	65
5	11	Block 1	10.00	1.00	120.00	140.00	3.00	53
6	6	Block 1	15.00	1.00	120.00	140.00	6.00	55
7	3	Block 1	10.00	2.00	120.00	140.00	6.00	67
8	2	Block 1	15.00	2.00	120.00	140.00	3.00	61
9	5	Block 1	10.00	1.00	100.00	180.00	3.00	69
10	9	Block 1	15.00	1.00	100.00	180.00	6.00	45
11	1	Block 1	10.00	2.00	100.00	180.00	6.00	78
12	15	Block 1	15.00	2.00	100.00	180.00	3.00	93
13	14	Block 1	10.00	1.00	120.00	180.00	6.00	49
14	13	Block 1	15.00	1.00	120.00	180.00	3.00	60
15	12	Block 1	10.00	2.00	120.00	180.00	3.00	95
16	16	Block 1	15.00	2.00	120.00	180.00	6.00	82

#41. Plano da experiência. Importante realizar a experiência seguindo a ordem indicada pela coluna *Run*!! É possível guardar este esquema, fazendo **File > Save As**... Depois de realizada a experiência, introduzem-se os resultados obtidos na última coluna. O quadro ilustrado na figura está ordenado pela coluna *Std* para facilitar a introdução dos dados!

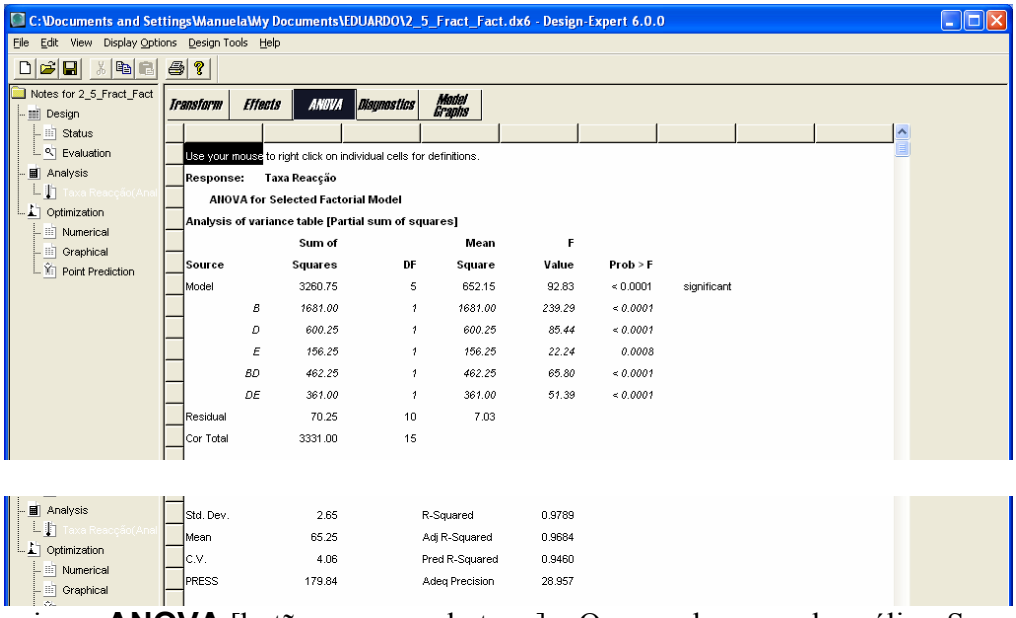


#42. Seleccionar **Analysis > Taxa...** no painel da esquerda. Surge o primeiro passo da análise estatística dos resultados, **Transform** [botão no menú no topo] Existem várias opções para a

eventual transformação dos dados (ver notas anteriores).

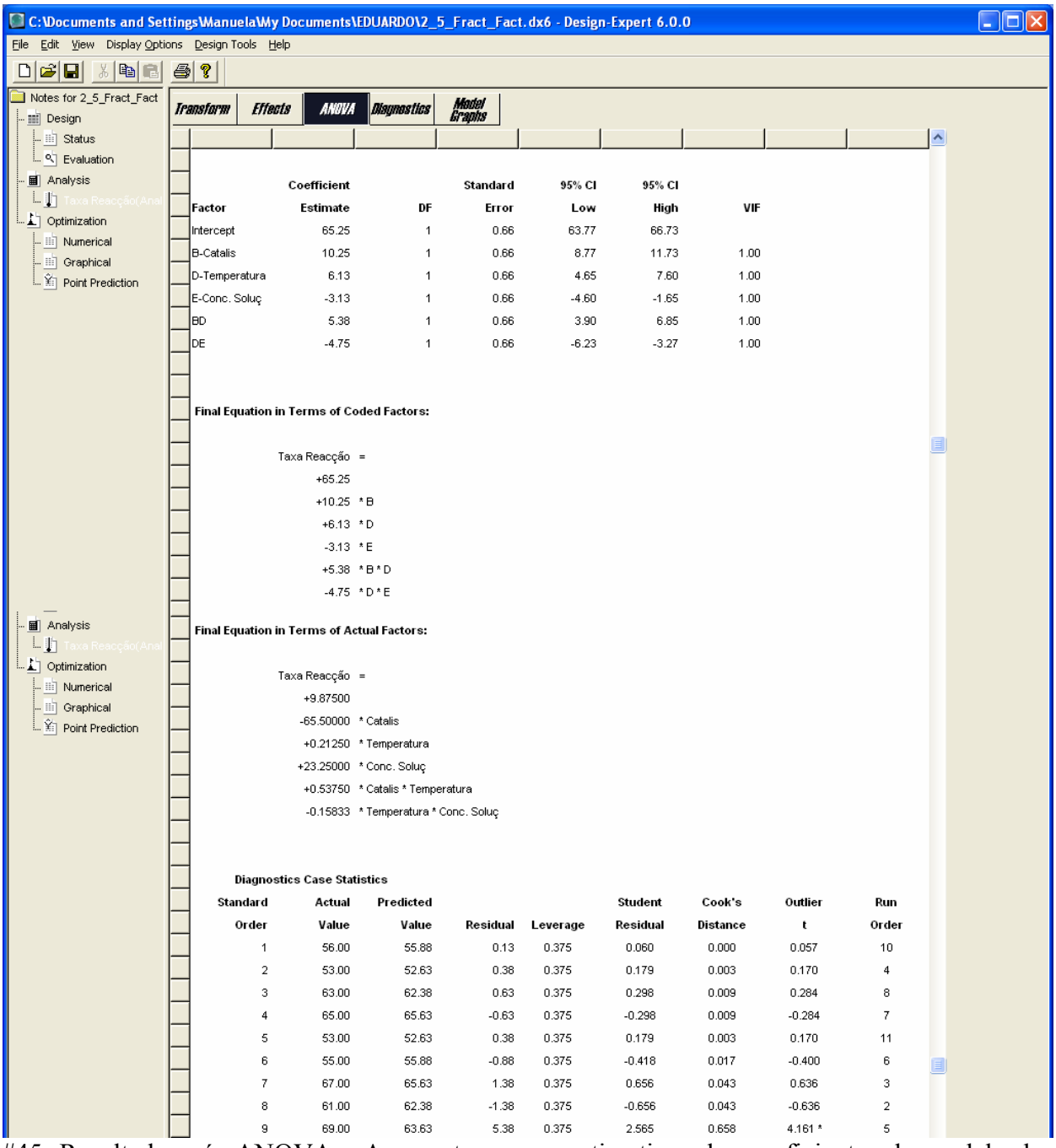


#43. Seleccionar **Effects...** [no botão do menu do topo]. O programa apresenta graficamente quais dos factores, incluindo possíveis interacções, são significativos para "explicar" a variável-resposta (através dum `Half-Normal Probability plot`). Se isso não acontecer "por defeito", é possível obter os resultados apresentados nesta figura da seguinte forma: com o rato deslocar a linha vermelha para que se aproxime do maior nº de pontos junto à origem (indicada por ●); e "clicar" sobre os pontos "mais distantes" parindo dos pontos mais à direita da linha (neste caso, B, D e E, e também as interações BD e DE) para os individualizar, como "significativos" para explicar a variável-resposta. Seleccionando **View > Effects List**… surge uma lista com os valores numéricos ilustrados na figura.


C:\Documents and Settings\Manuela\My Documents\EDUARDO\2_5_Fract_Fact.dx6 - Design-Expert 6.0.0
File Edit View Display Options Design Tools Help
Notes for 2_5_Fract_Fact
Design
Status
Evaluation
Analysis
Optimization
Numerical
Graphical
Point Prediction
Transform Effects ANOVA Diagnostics Model Graphs
Use your mouse to right click on individual cells for definitions.
Response: Taxa Reacção
ANOVA for Selected Factorial Model
Analysis of variance table [Partial sum of squares]
Source | Sum of Squares | DF | Mean Square | F Value | Prob > F
Model | 3260.75 | 5 | 652.15 | 92.83 | < 0.0001 | significant
B | 1681.00 | 1 | 1681.00 | 239.29 | < 0.0001
D | 600.25 | 1 | 600.25 | 85.44 | < 0.0001
E | 156.25 | 1 | 156.25 | 22.24 | 0.0008
BD | 462.25 | 1 | 462.25 | 65.80 | < 0.0001
DE | 361.00 | 1 | 361.00 | 51.39 | < 0.0001
Residual | 70.25 | 10 | 7.03
Cor Total | 3331.00 | 15
Std. Dev. | 2.65 | R-Squared | 0.9789
Mean | 65.25 | Adj R-Squared | 0.9684
C.V. | 4.06 | Pred R-Squared | 0.9460
PRESS | 179.84 | Adeq Precision | 28.957

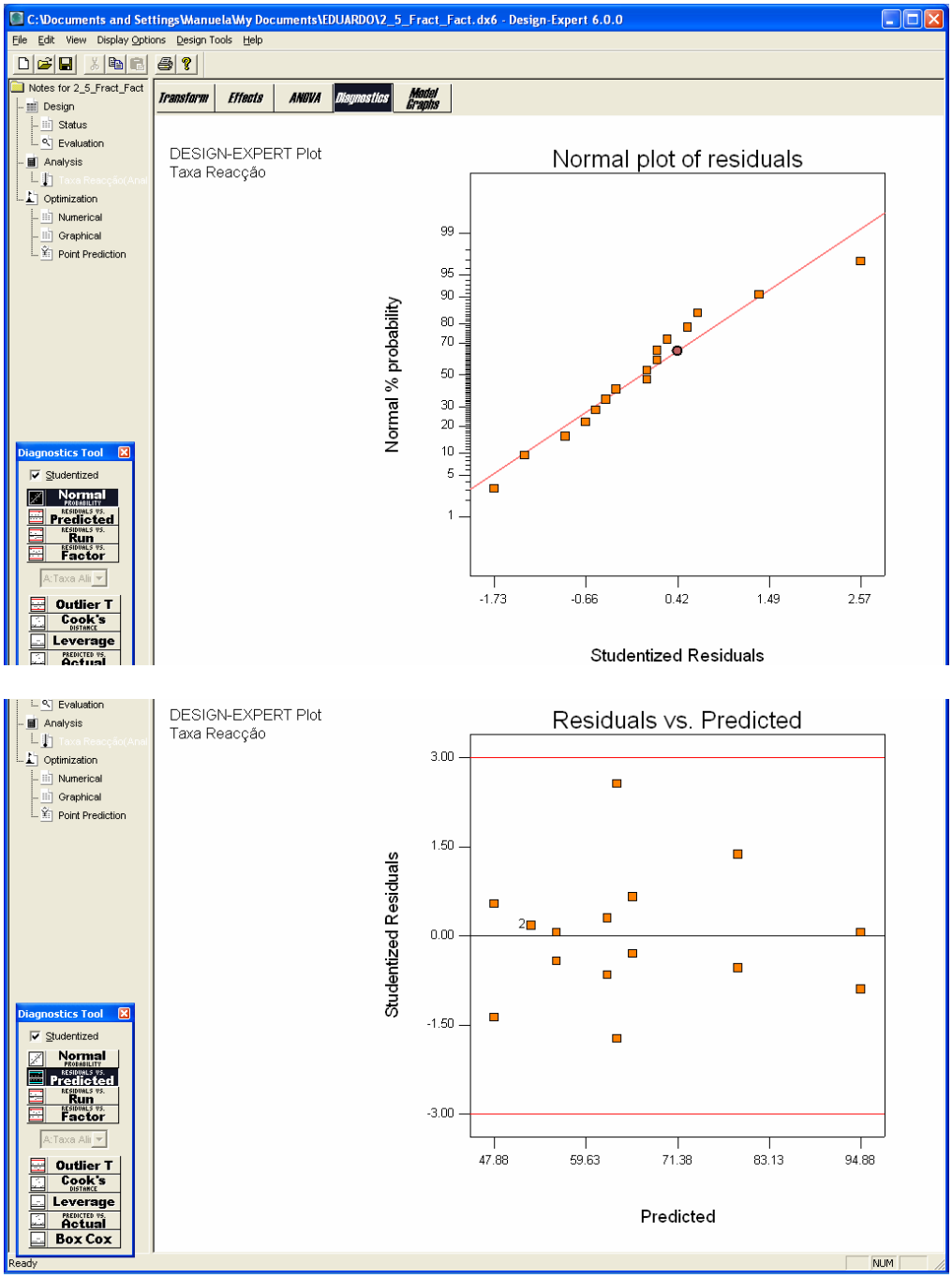
#44. Seleccionar **ANOVA** [botão no menu do topo]... O segundo passo da análise. Surgem vários resultados: 1º Tabela da ANOVA, em que interessam **`F value`** (o f_{obs}) e **`Prob>F`** (o *p-value*).

Se `Prob>F` for significativo, i.e. o seu valor < α, então o modelo matemático que inclui os factores especificados (neste caso, B, D, E, BD e DE) é útil para "explicar" os resultados observados da variável-resposta (neste caso, a taxa de conversão). Para complementar a tabela da ANOVA, o *software* fornece mais informação, nomeadamente: a **`PRESS`** (*Predicted Residual Sum of Squares*) ou Soma Prevista dos Quadrados dos Resíduos, uma medida do ajuste do modelo obtido a cada um dos resultados obtidos (quanto menor, melhor!); o **`Adj R-Squared`** (R^2 ajustado) e o **`Pred R-Squared`** (R^2 previsto), uma medida da porção da variabilidade numa "futura" exepriência, em tudo semelhante a esta, explicada pelo modelo obtido (estas duas quantidades devem ser similares!); e a **`Adeq Precision`**, mede a diferença entre a resposta prevista (ou esperada) e o erro associado (uma razão> 4 é desejável). Pode prosseguir-se a análise dos resultados. Na *scroll-bar* à direita, percorrer restantes resultados que se apresentam em baixo....

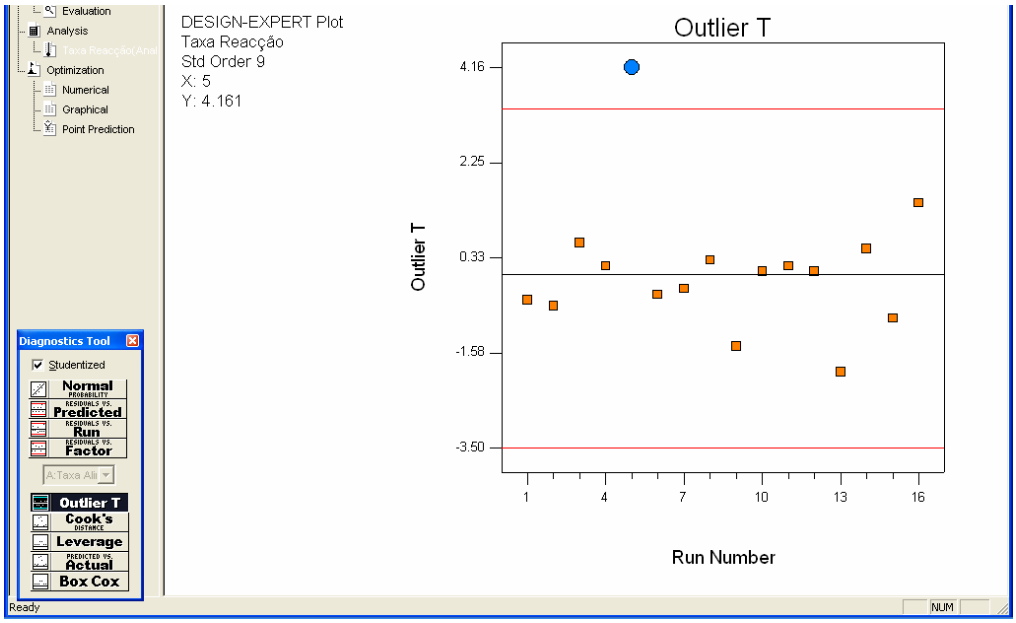

C:\Documents and Settings\Manuela\My Documents\EDUARDO\2_5_Fract_Fact.dx6 - Design-Expert 6.0.0
File Edit View Display Options Design Tools Help
Notes for 2_5_Fract_Fact
Design
Status
Evaluation
Analysis
Optimization
Numerical
Graphical
Point Prediction
Transform Effects ANOVA Diagnostics Model Graphs
Coefficient Standard 95% CI 95% CI
Factor Estimate DF Error Low High VIF
Intercept 65.25 1 0.66 63.77 66.73
B-Catalis 10.25 1 0.66 8.77 11.73 1.00
D-Temperatura 6.13 1 0.66 4.65 7.60 1.00
E-Conc. Soluç -3.13 1 0.66 -4.60 -1.65 1.00
BD 5.38 1 0.66 3.90 6.85 1.00
DE -4.75 1 0.66 -6.23 -3.27 1.00
Final Equation in Terms of Coded Factors:
Taxa Reacção =
+65.25
+10.25 * B
+6.13 * D
-3.13 * E
+5.38 * B * D
-4.75 * D * E
Final Equation in Terms of Actual Factors:
Taxa Reacção =
+9.87500
-65.50000 * Catalis
+0.21250 * Temperatura
+23.25000 * Conc. Soluç
+0.53750 * Catalis * Temperatura
-0.15833 * Temperatura * Conc. Soluç
Diagnostics Case Statistics
Standard Order Actual Value Predicted Value Residual Leverage Student Residual Cook's Distance Outlier t Run Order
1 56.00 55.88 0.13 0.375 0.060 0.000 0.057 10
2 53.00 52.63 0.38 0.375 0.179 0.003 0.170 4
3 63.00 62.38 0.63 0.375 0.298 0.009 0.284 8
4 65.00 65.63 -0.63 0.375 -0.298 0.009 -0.284 7
5 53.00 52.63 0.38 0.375 0.179 0.003 0.170 11
6 55.00 55.88 -0.88 0.375 -0.418 0.017 -0.400 6
7 67.00 65.63 1.38 0.375 0.656 0.043 0.636 3
8 61.00 62.38 -1.38 0.375 -0.656 0.043 -0.636 2
9 69.00 63.63 5.38 0.375 2.565 0.658 4.161 * 5

#45. Resultados pós-ANOVA... Apresentam-se as estimativas dos coeficientes do modelo dos

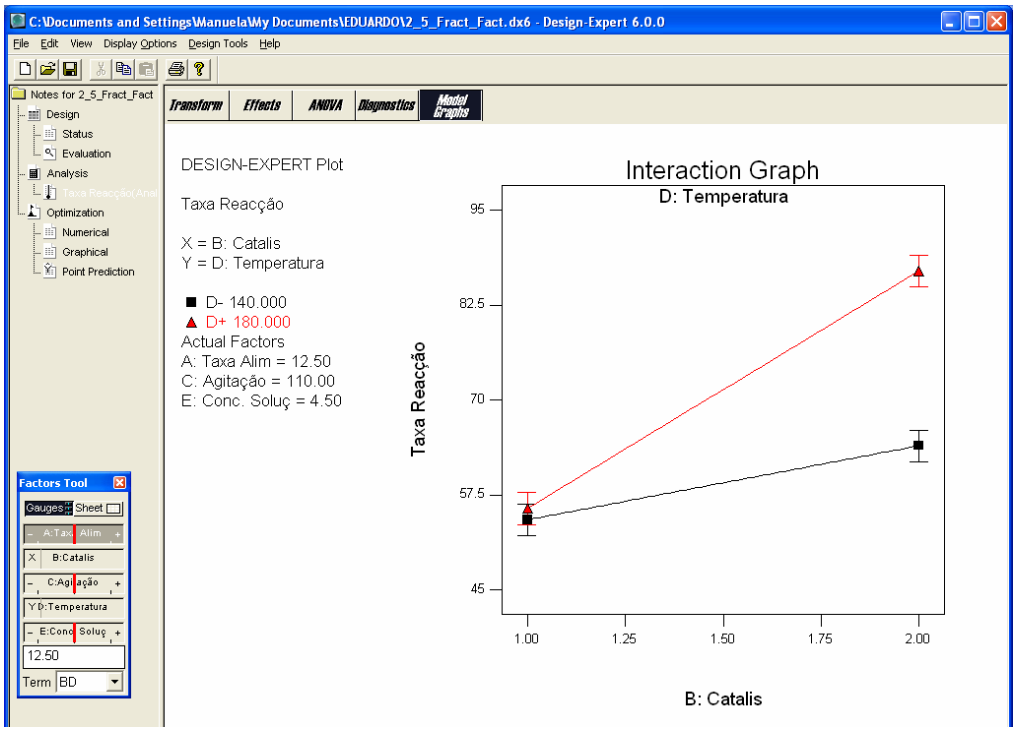
efeitos (para os níveis dos factores codificados como –1 e +1, i.e. **`Final Equation in Termos of Coded Factors`**), assim como para o modelo (de regressão) dos efeitos (… **`Actual factors`**). No diagnóstico dos resultados (**`Diagnostics case statistics`**), apresentam-se os valores observados e esperados da variável-resposta (**`Actual values`** e **`Predicted values`**), os resíduos (sob várias formas), etc. Interessam os valores de **`Outlier t`** (se `|Outlier t|`>3 então o ensaio/réplica/caso é "suspeito" e eventualmente poderá ser eliminado da análise – cuidado com estas decisões!). Nesta experiência verifica-se que um caso está evidenciado como "outlier" com um asterisco a seguir ao respectivo valor de `Outlier t`. Completar o "diagnóstico" com a análise gráfica dos resíduos (para verificação dos pressupostos e para garantir a validade dos resultados da análise estatística).



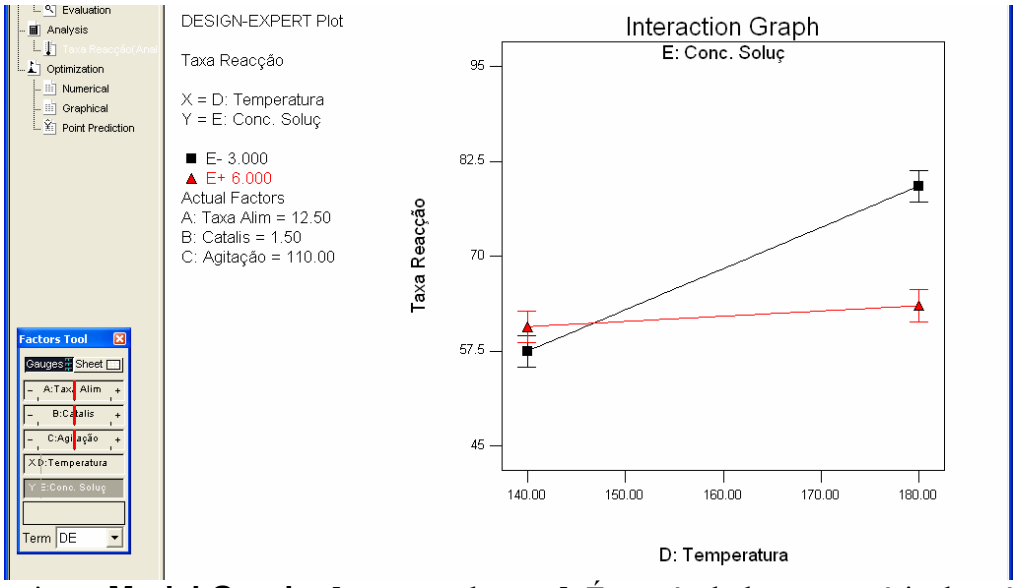
(continua)



#46. Para avaliar a "qualidade" da análise estatística anterior e a "credibilidade" das conclusões extraídas... Seleccionar **Diagnostics** [botão no menu do topo], das várias possibilidades interessam: 1º **Normal plot of residuals** (que permite analisar a normalidade dos erros, um dos pressupostos da ANOVA; se os pontos se desviarem da linha, então é possível que os erros não se distribuam normalmente); 2º **Residuals vs. Predicted** (que permite verificar a homogeneidade das variâncias, outro pressuposto da ANOVA; se se observar alguma tendência, então é possível que as variâncias não sejam homogéneas). Podem, ainda, observar-se os gráficos **Residuals vs. Run**, para verificar a independências das observações, **Cook's distance**, para analisar a "contribuição relativa" de cada uma das observações para o modelo obtido, e **Outlier *T***, para identificar observações muito extremas (neste caso, parece ocorrer uma observação "demasiado" extrema, que está evidenciada das restantes).



(continua)



#48. Seleccionar **Model Graphs** [no menu do topo]. É possível obter uma série de gráficos que ilustram os efeitos dos vários factores (e/ou combinações de factores) significativos sobre a variável-resposta. Escolhendo no menu flutuante (**Factors Tool**) os termos (**Term**) do modelo obtido, surge na janela principal o gráfico e a respectiva legenda, que permite a sua interpretação. Surgem também avisos acerca da análise dos resultados! **Atenção às interacções entre factores. Nestes casos, os efeitos dos factores *per se* são virtualmente irrelevantes!** Por esta razão apenas se apresentam aqui os gráficos relativos às interacções BD e DE.